



SKRIPSI

PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR HIDROKARBON (C8-C13) DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA HASIL KONVERSI KATALITIK DENGAN VARIASI JUMLAH KATALIS Al-MCM-41

ISMI QURRATUL ‘UYUN
NRP.1413 100 088

Dosen Pembimbing
Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfen, M.Si.

DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



SCRIPT

THE PRODUCTION OF HYDROCARBON (C8-C13) LIQUID FUELS FROM POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE THAT RESULT FROM CATALYTIC CONVERSION WITH VARIATIONS OF Al-MCM-41 CATALYSTS CONCENTRATION

**ISMI QURRATUL 'UYUN
NRP.1413 100 088**

**Advisor Lecturer
Dr. Hendro Juwono, M.Si.
Dra. Ita Ulfin, M.Si.**

**CHEMISTRY DEPARTMENT
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2017**

PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR HIDROKARBON (C8-C13) DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA HASIL KONVERSI KATALITIK DENGAN VARIASI JUMLAH KATALIS Al-MCM-41

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan mata kuliah Tugas Akhir program S-1
Jurusan Kimia
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun oleh :

ISMI QURRATUL 'UYUN
NRP. 1413 100 088

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR HIDROKARBON (C8-C13) DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA HASIL KONVERSI KATALITIK DENGAN VARIASI JUMLAH KATALIS Al-MCM-41

SKRIPSI

Oleh :

ISMI QURRATUL 'UYUN
NRP. 1413 100 088

Surabaya, 8 Agustus 2017
Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Dr. Hendro Juwono, M.Si.
NIP 19610606 198803 1 001

Dosen Pembimbing II



Dra. Ita Ulfin, M.Si.
NIP 19650426 198903 2 002



Mengetahui,
Kepala Departemen Kimia,

Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc.,
NIP 19710616 199703 1 002

*Karya ini kusembahkan untuk Ibu, Ayah, dan
Keluarga Besar Bani Imron
Dosen pembimbing dan penguji
Anorthite 2013
Teman-teman Kimia F MIPA-ITS*

PRODUKSI BAHAN BAKAR CAIR HIDROKARBON (C8-C13) DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA HASIL KONVERSI KATALITIK DENGAN VARIASI JUMLAH KATALIS Al-MCM-41

Nama : Ismi Qurratul ‘Uyun
NRP : 1413 100 088
Departemen : Kimia
Pembimbing : 1. Dr. Hendro Juwono, M.Si
2. Dra. Ita Ulfin, M.Si

ABSTRAK

Produksi bahan bakar cair hidrokarbon (C8-C13) dari limbah plastik polipropilena hasil konversi katalitik dengan variasi jumlah katalis telah berhasil dilakukan. Katalis yang digunakan adalah material Al-MCM-41 sebesar 3,72%; 4,28%; dan 5,59% (b/v). Jumlah katalis mampu mempengaruhi produk bahan bakar cair yang dihasilkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bahan bakar cair yang mendekati karakteristik bahan bakar minyak jenis bensin adalah bahan bakar cair dengan variasi katalis 5,59% (b/v) dengan komposisi fraksi bensin (C8-C13) sebesar 87,49%. Pengujian fisik bahan bakar cair kemudian dibandingkan dengan pengujian fisik pada bensin komersil (premium). Hasil pengujian fisik bahan bakar cair variasi katalis 5,59% (b/v) antara lain: densitas 717,90 kg/m³, titik nyala 51°C, titik didih akhir 93°C, viskositas kinematik 0,416 cSt, kalor pembakaran 25.355 kkal/kg, mendekati dengan karakteristik bensin komersil jenis premium.

Kata Kunci : Bahan bakar cair, polipropilena, konversi katalitik, katalis Al-MCM-41.

**THE PRODUCTION OF HYDROCARBON (C8-C13)
LIQUID FUELS FROM POLYPROPYLENE PLASTIC
WASTE THAT RESULT FROM CATALYTIC
CONVERSION WITH VARIATIONS OF Al-MCM-41
CATALYSTS CONCENTRATION**

Name : Ismi Qurratul 'Uyun
Student No. : 1413 100 088
Departement : Chemistry
Advisor : 1. Dr. Hendro Juwono, M.Si
2. Dra. Ita Ulfin, M.Si

ABSTRACT

The production of hydrocarbons (C8-C13) liquid fuels from polypropylene plastic waste that result from catalytic conversion with variation of catalysts concentration has been done. Al-MCM-41 was used as catalyst for catalytic conversion. The variation of catalyst in this study was 3.72%; 4.28%; and 5.59% (w/v). The amount of catalyst an affect the production of liquid fuel. The result of this research shows that liquid fuel which has same characteristic with gasoline fuel is liquid fuel with catalyst variation 5.59% (w/v) has gasoline fraction (C8-C13) 87.49%. Then, physical properties of liquid fuel compared with physical properties of comercyl gasoline. The result of liquid fuel physical testing with catalyst variation 5.59% (b/v) are 717.90 kg/m³(density), 51°C (flash point), 93 °C (boilling point), 0.416 cSt (kinematic viscosity), and 25355 kcal/kg (caloric value) has the closest characteristic with premium.

Keyword : Liquid fuel, polypropylene, catalytic conversion, Al-MCM-41 catalyst.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C₈-C₁₃) dari Limbah Plastik Polipropilen Hasil Konversi Katalitik dengan Variasi Jumlah Katalis Al-MCM-41”**.

Tugas akhir ini tidak dapat terwujud tanpa bantuan, dukungan, dan dorongan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada :

1. Dr. Hendro Juwono, M.Si dan Dra. Ita Ulfin, M.Si, selaku dosen pembimbing yang telah memberikan kesempatan untuk ikut serta dalam penelitian yang sedang dijalankan dan bimbingan selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, M.Sc., selaku ketua Departemen Kimia FMIPA-ITS atas fasilitas yang telah diberikan sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.
3. Nurul Widiastuti, M.Si, Ph.D selaku dosen wali atas semua arahan yang diberikan.
4. Ayah, Ibu, dan keluarga besar Bani Imron yang selalu memberikan motivasi, semangat, dukungan, dan doa yang tiada henti.
5. Laily Fauziah, Mas ArifTri Sujadmiko, Shelvi Ismada selaku rekan sepenelitian yang selalu memberi motivasi.
6. Zulfah, Ranny, Silmi, Clara, Ova, Cici, dan Liasebagai sahabat yang senantiasa mendukung setiap keputusan penulis.
7. Teman-teman Anorthite 2013 yang selalu memberikan motivasi, semangat, dukungan, dan doa tiada henti.
8. Teman-teman anggota Laboratorium Instrumentasi dan Analitik.

9. Semua pihak yang telah membantu yang tidak mungkin saya sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Masalah	6
1.4. Batasan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1. Plastik	8
2.2. Polipropilena	9
2.3. Katalis.....	10
2.4. Katalis Al-MCM-41	11
2.5. Bahan Bakar Cair	14
2.6. Metode Konversi	15

2.6.1.	Perengkahan Termal.....	15
2.6.2.	Perengkahan Katalitik	16
2.7.	Karakterisasi Bahan Bakar	18
2.7.1.	Densitas	18
2.7.2.	Viskositas	19
2.7.3.	Titik Nyala.....	20
2.7.4.	Gas Chromatography-Mass Spectrometry	21
2.7.5.	Kalor.....	25
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN		28
3.1.	Alat dan Bahan	28
3.1.1.	Alat	28
3.1.2.	Bahan.....	28
3.2.	Prosedur Kerja.....	28
3.2.1.	Sumber Bahan	28
3.2.2.	Produksi Bahan Bakar Cair Hasil Konversi Katalitik.....	29
3.3.	Karakterisasi Bahan Bakar Cair	31
3.4.1.	Densitas	31
3.4.2.	Titik Nyala.....	31
3.4.3.	Titik Didih.....	32
3.4.4.	Viskositas Kinematik	32
3.4.5.	Chromatography Gas-Mass Spectrometry (GC-MS)	33
3.4.6.	Kalor.....	33

3.4.7.	Perhitungan Perolehan Yield.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		36
4.1.	Hasil Sintesis Bahan Bakar Cair Hasil Konversi Katalitik.....	36
4.2.	Karakterisasi Bahan Bakar Cair	40
4.2.1.	Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)	40
4.2.2.	Titik Didih	43
4.2.3.	Titik Nyala.....	44
4.2.4.	Densitas	46
4.2.5.	Viskositas	47
4.2.6.	Kalor.....	48
4.2.7.	Konversi Katalitik	50
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		54
5.1.	Kesimpulan.....	54
5.2.	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		56
LAMPIRAN		64
A.	SKEMA KERJA	64
B.	KARAKTERISASI BAHAN BAKAR CAIR.....	65
C.	PERHITUNGAN	74
BIODATA PENULIS.....		82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Polimerisasi Polipropilena	10
Gambar 2. 2 Struktur Heksagonal MCM-41	12
Gambar 2. 3 Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilena dengan Zeolit	17
Gambar 2. 4 Viskometer Ostwald	19
Gambar 2. 5 Skema Sederhana Instrumen Kromatografi Gas.....	21
Gambar 2. 6 Skema sederhana bomb-kalorimeter.....	25
Gambar 3. 1 Reaktor Pirolisis	29
Gambar 3. 2 Reaktor Konversi Katalitik	30
Gambar 4. 1 Produk bahan bakar cair dengan variasi jumlah katalis (a) 3,72 % (b/v) ; (b) 4,28 % (b/v), (c) 5,59 % (b/v).....	38
Gambar 4. 2 Komposisi Fraksi Hidrokarbon.....	41
Gambar 4. 3 Komposisi Fraksi Bensin.....	42
Gambar 4. 4 Titik Didih Bahan Bakar Cair.....	44
Gambar 4. 5 Titik Nyala Bahan Bakar Cair	45
Gambar 4. 6 Densitas Bahan Bakar Cair.....	46
Gambar 4. 7 Viskositas Bahan Bakar Cair	48
Gambar 4. 8 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair.....	49
Gambar 4. 9 Reaksi Konversi Katalitik Polipropilena	51

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Nilai kalor jenis plastik dan bahan bakar	9
Tabel 4. 1 Standar Mutu Bensin	399
Tabel 4. 2 Persentase perolehan fraksi hidrokarbon padabahan bakar cair hasil penelitian dan premium.....	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Plastik merupakan material yang sering ditemui dalam kehidupan manusia. Sifatnya yang ringan, kuat, mudah dalam perancangan serta biaya pembuatan yang murah merupakan kelebihan plastik dibandingkan dengan material lainnya. Seiring berkembangnya zaman kebutuhan plastik semakin beragam. Mulai dari kebutuhan rumah tangga kini plastik merambah pada kebutuhan transportasi dan hampir di seluruh sektor kehidupan. Di balik segala kelebihannya, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Sifat plastik yang sulit diuraikan dalam tanah menimbulkan pencemaran lingkungan apabila limbah plastik dibiarkan begitu saja.

Sebanyak 230 juta ton limbah plastik diproduksi di dunia (Aguado dkk., 2008). Limbah plastik tersebut sebagian besar dihasilkan dari aktivitas rumah tangga. Limbah plastik ini campuran dari berbagai jenis plastik, yaitu *polyethylene terephthalate* (PET), *low-density polyethylene* (LDPE), *high-density polyethylene* (HDPE), *polyvinyl chloride* (PVC), *polypropylene* (PP), dan *polystyrene* (PS). Para ilmuwan dan pakar lingkungan melakukan berbagai penelitian serta tindakan untuk mengatasi masalah limbah plastik. Salah satunya yaitu dengan mendaur ulang limbah plastik menjadi barang yang dapat digunakan kembali dengan kegunaan yang berbeda. Langkah yang dilakukan tersebut belum efektif karena hanya sekitar 4% limbah plastik yang dapat didaur ulang, sisanya menggenangi di tempat penampungan sampah (Justiana, 2005). Penanganan sampah plastik dengan sistem *landfill* maupun *open dumping* bukan pilihan yang tepat

karena plastik mempunyai laju degradasi yang sangat lambat, sehingga sangat sulit terurai di dalam tanah. Penggunaan teknologi insinerasi dengan cara dibakar juga tidak tepat karena akan menghasilkan polutan ke udara. Salah satu solusi dalam menekan produksi limbah plastik yang dihasilkan yaitu mengembalikan material plastik dengan cara memecah polimer atau rantai karbon menjadi hidrokarbon. Sifat penyusun plastik yang tersusun dari komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi bahan bakar minyak (Nugraha dkk., 2013).

Polipropilena (PP) merupakan limbah plastik yang sering dijumpai dan digunakan dalam berbagai aplikasi, diantaranya sebagai botol kemasan minum, botol obat, dan ember (Nugraha dkk., 2013). Polipropilena memiliki sifat resistensi yang baik terhadap bahan kimia, tahan panas, dan mudah diproses (Saunders, 1994). Polipropilena dengan rumus molekul $(C_3H_6)_n$ memiliki struktur hidrokarbon rantai panjang yang dapat dikonversi menjadi bahan bakar dengan bantuan katalis.

Proses konversi dapat berlangsung secara termal maupun katalitik melalui perengkahan. Proses perengkahan merupakan reaksi pemutusan ikatan C-C dari rantai karbon panjang dan berat molekul besar menjadi hidrokarbon dengan rantai karbon pendek dan berat molekul kecil (Sibarani, 2012). Terdapat dua jenis proses perengkahan, yaitu perengkahan termal dan perengkahan katalitik. Pada perengkahan termal, plastik akan meleleh dan kemudian berubah menjadi gas. Saat proses pemanasan tersebut, rantai panjang hidrokarbon akan terpotong menjadi rantai pendek, selanjutnya dilakukan proses pendinginan sehingga gas yang terbentuk akan mengalami

kondensasi dan membentuk cairan. Cairan inilah yang nantinya menjadi bahan bakar. Sedangkan, perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan yang menggunakan bantuan katalis untuk mereduksi penggunaan suhu tinggi pada perengkahan termal yang dapat menghemat konsumsi energi.

Perengkahan plastik telah dilakukan oleh Kadir (2012) dengan variasi bahan baku berupa *Polypropylene* (PP), *High-density polyethylene* (HDPE), dan *Polyethylene terephthalate* (PET) dengan jumlah sampel sebanyak 500 gram tanpa menggunakan katalis. Penelitian ini menghasilkan bahan bakar lebih banyak, yaitu 484 mL yang berasal dari plastik polipropilena. Pada tahun 2013, Wanchai dan Chaisuwan melakukan penelitian tentang perengkahan katalitik dengan bahan baku plastik berupa polipropilena. Sebanyak 5 gram polipropilena menggunakan katalis zeolit beta (BEA) dimana rasio Si/Al 3,60 dan 90 dengan rasio plastik/katalis sebesar 5% b/b. Penelitian ini dilakukan secara *batch* selama 30 menit dan dialiri N₂ 20 mL/menit secara terus-menerus. Suhu yang digunakan bervariasi sekitar 350-420 °C. Hasil yang didapatkan berupa gas, cairan, dan residu dimana *yield* tertinggi berupa cairan sebesar 85% menggunakan katalis BEA dengan rasio Si/Al 30 dan pada suhu 350°C.

Pada proses perengkahan katalitik dibutuhkan bantuan katalis dalam prosesnya. Mikropori dan mesopori telah diketahui mempunyai kemampuan dalam merengkah berbagai senyawa yang memiliki berat molekul besar (Kloestra dkk., 1996; Garcia dkk., 2005; Kresge dkk., 1992). Zeolite mikropori seperti HY, H β , dan HZSM-5 telah digunakan untuk perengkahan beberapa senyawa karena memiliki keasaman yang tinggi dan stabilitas termal yang baik (Adjaye

dkk., 1995; Leng dkk., 1999). Akan tetapi, ukuran porinya yang kecil membuat molekul besar susah untuk bereaksi dengannya, sehingga pengembangan katalis mesopori dengan pori yang lebih besar sangat dibutuhkan untuk digunakan dalam proses perengkahan. Salah satu katalis mesopori yang sering digunakan pada proses perengkahan, yaitu material MCM-41. Material mesopori MCM-41 memiliki keasaman dan stabilitas termal yang rendah (Chew & Bhatia, 2008). MCM-41 memiliki kandungan sisi asam Lewis yang lemah dan tidak memiliki sisi asam Bronsted yang menyebabkan MCM-41 sulit digunakan sebagai katalis secara langsung (Kim dkk., 1995; Endud dkk., 1998). Oleh karena itu, perlu ada langkah untuk menciptakan sisi asam yang diharapkan seperti modifikasi katalis MCM-41. Material MCM-41 dapat dimodifikasi sebagai aplikasi katalis pendukung menggunakan logam aluminium. Bhattacharyya dkk. (2001) melakukan penelitian bahwa modifikasi MCM-41 dengan ion aluminium dapat meningkatkan keasaman material ini, sehingga ion logam tersebut akan menjadi sisi asam Lewis dan berperan sebagai sisi aktif pada proses katalitik.

Xie dkk., (2008) melakukan penelitian perengkahan katalitik sampah plastik *polypropylene* (PP) pada suhu 400 °C dengan 1% katalis selama 30 menit. *Yield* cairan terbanyak didapatkan dengan menggunakan katalis Zr-Mo-MCM-41 sebesar 92,0%. Material mesopori seperti Al-MCM-41 juga berpotensi sebagai pengganti peranan zeolit. Adanya ion aluminium pada material MCM-41 dapat meningkatkan keasaman material sehingga ion logam Al akan menjadi sisi asam Lewis dan berperan sebagai sisi aktif pada proses katalitik

Berawal dari kenyataan tersebut, maka perlu dilakukan tindakan untuk mengurangi jumlah sampah terutama plastik polipropilena sekaligus mengatasi masalah konsumsi BBM yang berasal dari fosil yang tidak dapat terbarui. Bahan bakar cair yang diperoleh kemudian dikarakterisasi menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui senyawa kimia penyusun bahan bakar cair tersebut. Sebagai bahan bakar cair yang akan dimanfaatkan untuk mesin kendaraan, maka perlu dilakukan karakterisasi fisik meliputi titik didih, titik nyala, densitas, viskositas, dan nilai kalor yang kemudian dibandingkan dengan baku mutu bahan bakar cair yang berlaku.

1.2. Rumusan Masalah

Polipropilena merupakan limbah plastik yang melimpah dan mudah didapatkan (Nugraha dkk., 2013). Melihat sifat penyusun plastik merupakan komponen hidrokarbon minyak bumi, maka limbah plastik sangat berpotensi untuk dikonversi menjadi BBM. Wahyudi dkk., (2013) telah melakukan penelitian sampah plastik menjadi bahan bakar dengan metode perengkahan katalitik. Perolehan *yield* tertinggi diperoleh pada variasi suhu 450 °C dan rasio katalis plastik 1,5 % (b/b) sebesar 76,09%. Katalis yang digunakan berupa zeolit X. Mengingat plastik merupakan molekul berat, maka dibutuhkan katalis dengan ukuran pori yang besar sehingga dapat berinteraksi dengan molekul besar pada plastik. Adanya katalis diharapkan dapat meningkatkan perolehan *yield* produk serta dapat mereduksi suhu sintesisnya. Namun, belum ada penelitian yang meneliti pengaruh variasi katalis pada proses perengkahan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan produksi bahan bakar cair hidrokarbon dari limbah

plastik polipropilena hasil konversi katalitik dengan variasi jumlah katalis Al-MCM-41.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk memproduksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena hasil konversi katalitik dengan bantuan katalis Al-MCM-41 sehingga mendapatkan hasil terbaik pada fraksi hidrokarbon C8-C13.

1.4. Batasan Penelitian

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena hasil konversi katalitik penelitian ini dilakukan pada temperatur 200 °C selama 5 jam dengan variasi jumlah katalis Al-MCM-41 3,72%; 4,28%; dan 5,59% (b/v). Bahan bakar yang diperoleh kemudian dikarakterisasi sifat fisiknya meliputi titik didih, titik nyala, densitas, viskositas, dan nilai kalor. Pengujian secara kimia dilakukan dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry*(GC-MS) dengan perolehan *yield* pada fraksi hidrokarbon C8-C13.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi sumber alternatif produksi bahan bakar cair yang terbatas berasal dari sumber daya fosil, sehinggadapat mengurangi ketergantungan akan bahan bakar minyak yang semakin menipis. Penggunaan limbah plastik khususnya polipropilena sebagai sumber bahan bakar cair diharapkan dapat mengurangi masalah limbah plastik di lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Plastik

Plastik merupakan polimer tinggi yang dibentuk dari proses polimerisasi. Plastik didefinisikan sebagai materi yang bahan utamanya adalah molekul organik yang terpolimerisasi dengan bobot molekul tinggi. Proses polimerisasi ini menghasilkan produk padat yang dapat dibentuk sesuai dengan yang diinginkan. Hal ini diperkuat oleh pernyataan dari Gooch (2007) bahwa plastik merupakan senyawa sintesis dari hidrokarbon rantai pendek yang terbentuk dari polimerisasi molekul-molekul kecil, sehingga membentuk rantai panjang kaku.

Aguado (2008) menjelaskan dalam bukunya bahwa terdapat beberapa jenis plastik, yaitu *low-density polyethylene* (LDPE), *high-density polyethylene* (HDPE), *polypropylene* (PP), *polyvinyl chloride* (PVC), *polystyrene* (PS), dan *polyethylene-terephthalate* (PET).

Secara umum plastik memiliki banyak kelebihan dibandingkan material lainnya. Plastik memiliki sifat isolasi terhadap listrik, densitas rendah, mudah dalam perancangan, dan biaya pembuatan murah. Di balik segala kelebihanannya, limbah plastik menimbulkan masalah bagi lingkungan. Penyebabnya tak lain karena sifat plastik yang tidak dapat diuraikan dalam tanah. Para pakar lingkungan dan ilmuwan dari berbagai disiplin ilmu telah melakukan berbagai penelitian dan tindakan. Salah satunya dengan cara mendaur ulang limbah plastik. Cara yang seperti itu ternyata tidak terlalu efektif. Hanya sekitar 4% yang dapat didaur ulang, sisanya menggenangi di tempat penampungan sampah

(Justiana dkk., 2005). Sampah plastik rata-rata memiliki porsi sekitar 10% dari total volume sampah, namun sangat sedikit yang dapat didaur ulang dan tidak mudah diurai oleh organisme dekomposer, serta membutuhkan 300-500 tahun agar bisa terdekomposisi secara sempurna (Akbar, 2013).

Plastik merupakan produk turunan dari minyak bumi yang mempunyai kandungan energi cukup tinggi seperti bahan bakar. Nilai kalor beberapa jenis plastik dan bahan bakar minyak dapat ditunjukkan pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1Nilai kalor jenis plastik dan bahan bakar

Jenis Bahan	Nilai Kalor (MJ kg ⁻¹)
Polietilen (PE)	43,3-46,5
Polipropilen (PP)	46,50
Polistiren (PS)	41,90
Minyak tanah	46,50
Solar	45,20
Minyak berat	42,50
Minyak bumi	43,30

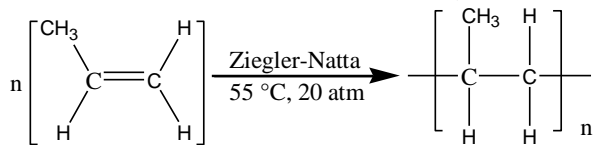
(Al-Salem dkk, 2009)

2.2. Polipropilena

Polipropilena (PP) merupakan sebuah polimer termoplastik yang dibuat oleh industri kimia dan digunakan dalam berbagai aplikasi. Aplikasi polipropilena yang sering ditemui, yaitu pengemasan, berbagai tipe wadah terpakaikan ulang, komponen otomatis, dan uang kertas polimer. Secara industri, polimerisasi polipropilena dilakukan dengan katalis koordinasi. Produksi polipropilena (PP) secara komersial menggunakan katalis Ziegler-Natta dengan proses polimerisasi fasa cair dalam polipropilena cair (C₃H₆) pada

tempertaur 55 °C dan tekanan 20 atm. Reaksi polimerisasi dari polipropilena secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1

Polipropilena (PP) memiliki sifat resistensi yang baik terhadap bahan kimia, tahan panas, dan mudah diproses. Penggunaan polipropilena banyak ditemukan sebagai botol kemasan minum, botol obat, dan lain-lain (Saunder, 1994).



Gambar 2. 1 Polimerisasi Polipropilena

(Saunder, 1994).

2.3. Katalis

Katalis merupakan suatu zat yang dapat mempercepat laju reaksi kimia dengan menurunkan energi aktivasi zat tersebut. Secara mekanisme suatu katalis ikut terlibat dalam reaksi, namun katalis dihasilkan kembali pada akhir reaksi tanpa bergabung dengan senyawa produk. Katalis dibedakan menjadi dua golongan utama, yaitu katalis homogen dan katalis heterogen. Katalis homogen merupakan senyawa yang memiliki fasa yang sama dengan pelarut. Sedangkan, katalis heterogen merupakan senyawa yang memiliki fasa yang berbeda dengan pelarutnya (Atkins & Paula, 2006).

Tahapan reaksi pada sistem katalis heterogen, yaitu :

- (i). Transport reaktan ke permukaan katalis
- (ii). Interaksi reaktan dengan katalis, pada molekul ini terjadi pelemahan ikatan dari molekul yang teradsorp.

- (iii). Reaksi molekul reaktan yang teradsorpsi dengan membentuk senyawa intermediet dan menghasilkan produk
- (iv). Desorpsi produk dari permukaan katalis.
- (v). Transport produk menjauhi katalis.

(Sibarani, 2012)

Parameter katalis yang baik dapat dinilai berdasarkan beberapa faktor, yaitu :

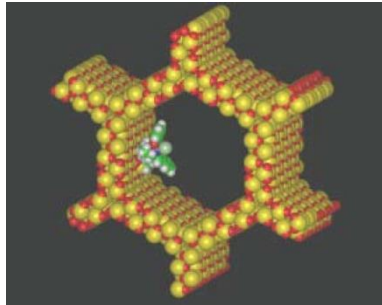
- (i). Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengubah reaktan menjadi produk yang diinginkan.
- (ii). Selektivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mempercepat satu mekanisme reaksi di antara beberapa kemungkinan mekanisme reaksi, sehingga diperoleh satu produk dengan jumlah seminimal mungkin.
- (iii). Hasil (*Yield*), yaitu kemampuan katalis untuk menghasilkan jumlah produk tertentu dari setiap satuan reaktan yang terkonsumsi.
- (iv). Kestabilan, yaitu kemampuan katalis untuk mempertahankan struktur dan komposisi dalam perubahan suhu dan waktu tertentu.

(Sibarani, 2012)

2.4. Katalis Al-MCM-41

Mobile Composition of Matter-41 (MCM-41) merupakan padatan mesopori yang tersusun dari silika amorf, memiliki struktur yang teratur dan seragam, serta kisi heksagonal seperti sarang lebah (Corma dkk., 1997). Material MCM-41 memiliki pori-pori yang lebih besar daripada material kristalin

lainnya seperti zeolit dan distribusi ukuran pori yang sedikit sempit dengan luas permukaan internal yang besar.



Gambar 2. 2 Struktur Heksagonal MCM-41

(Mohamed, 2005)

Penggunaan material MCM-41 ini cukup luas diaplikasikan sebagai media adsorpsi, katalis, pemisahan kimia, dan sebagainya. Material MCM-41 murni tidak memiliki keasaman yang cukup untuk digunakan sebagai katalis. MCM-41 mengandung silika murni yang hanya memiliki kandungan sisi asam Lewis lemah dan tidak memiliki sisi asam Bronsted. Hal tersebut yang menyebabkan MCM-41 sulit digunakan sebagai katalis dan adsorben secara langsung (Kim dkk, 1995; Endud dkk, 1998). Oleh karena itu, perlu ada langkah untuk menciptakan sisi asam yang diharapkan seperti modifikasi katalis MCM-41. Material MCM-41 dapat dimodifikasi sebagai aplikasi katalis pendukung menggunakan berbagai logam seperti aluminium. Penambahan gugus fungsi memberikan sisi aktif pada senyawa kompleks atau organologam. Gugus khiral pada MCM-41 berfungsi sebagai katalis enansioselektif yang diharapkan katalis yang digunakan bersifat aktif dan selektif (Deutschmann dkk., 2009).

Modifikasi MCM-41 dengan logam Al digunakan untuk menambah sisi aktifnya sehingga menjadi katalis redoks. Al-MCM-41 memiliki luas permukaan yang besar dibandingkan dengan zeolite, sehingga molekul organik yang besar dapat berinteraksi dengan Al-MCM-41. Material Al-MCM-41 memiliki ukuran pori sebesar $0,78 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan luas permukaan sebesar $877 \text{ m}^2/\text{g}$ (Sayyahi dkk., 2013).

Mikropori dan mesopori telah diketahui mempunyai kemampuan dalam merengkah berbagai senyawa yang memiliki berat molekul besar (Kloestra dkk., 1996; Garcia dkk., 2005; Kresge dkk., 1992). Zeolite mikropori seperti HY, H β , dan HZSM-5 telah digunakan untuk perengkahan beberapa senyawa karena memiliki keasaman yang tinggi dan stabilitas termal yang baik (Adjaye dkk., 1995; Leng dkk., 1999). Akan tetapi, ukuran porinya yang kecil membuat molekul besar sulit untuk bereaksi, sehingga pengembangan katalis mesopori dengan pori yang lebih besar sangat dibutuhkan untuk digunakan dalam proses perengkahan (Chew dkk., 2008).

Adjdir dkk. (2009) melakukan sintesis katalis Al-MCM-41 dari prekursor yang terdiri dari tiga larutan yang berisi sumber aluminium yang dicampur dengan hidroksida organik pada amonium tipe IV (S1), sumber silika (S2), dan agen surfaktan (S3). Pelarut yang digunakan dalam sintesis adalah aqua demineralisasi. Komposisi molarnya, yaitu $1 \text{ SiO}_2 : 0,25 \text{ CTAB} : 0,2 \text{ T-MAOH} : x \text{ Al}_2\text{O}_3 : 40 \text{ H}_2\text{O}$ (dengan $x = 5, 10, 25, 50, 70, 150$). Proses pengkristalan material dilakukan dengan menyimpan gel yang terbentuk dalam autoclave *stainless steel* berlapis teflon pada suhu 373 K selama dua hari. Produk padatan diperoleh dari pencucian, penyaringan, dan dikeringkan selama semalam pada suhu 373 K . Sampel yang

disintesis kemudian dikalsinasi pada suhu 823 K selama 12 jam.

2.5. Bahan Bakar Cair

Senyawa hidrokarbon merupakan senyawa organik yang terdiri atas hidrogen dan karbon, seperti benzena, toluena, ethylbenzena, dan isomer xylema, yang dikenal dengan BTEX. Senyawa tersebut memiliki rantai karbon C₁₀ hingga C₃₂. Hidrokarbon merupakan senyawa penyusun minyak bumi. Bentuk fisik minyak bumi di alam sangat beragam, kasar padat, substansi lilin, serta berbentuk gas yang terkondensasi. Minyak bumi cair dapat berubah menjadi padat melalui penguapan. Fraksi-fraksi ringan akan membentuk gas dan uap, sedangkan fraksi-fraksi berat akan membentuk padatan (Nugroho, 2006).

Senyawa hidrokarbon baik dari alam maupun secara buatan dapat bergabung membentuk bahan bakar cair. Bahan bakar cair umumnya berasal dari minyak bumi. Minyak bumi merupakan campuran alami hidrokarbon cair dengan sedikit belerang, nitrogen, oksigen, sedikit sekali logam, dan mineral. Secara teknis, bahan bakar cair merupakan sumber energi yang terbaik, mudah ditangani, mudah dalam penyimpanan, dan nilai kalor pembakarannya cenderung konstan (Wiratmaja, 2010). Adanya proses kimia dan fisika, minyak bumi mentah dapat diubah menjadi berbagai produk (Conel & Miller, 1995). Salah satu produk olahan dari minyak bumi adalah bensin.

Bensin merupakan campuran dari destilasi hidrokarbon ringan yang terbuat dari campuran minyak bumi. Campuran tersebut terdiri dari paraffin, olefin, naphthene, dan aromatik. Bensin harus cukup *volatile* (mudah menguap) agar mudah

menyediakan uap pada mesin, tetapi tidak sangat *volatile*, sehingga menimbulkan bahaya detonasi selama penanganannya. Temperatur didih bensin adalah 25-225 °C, n-oktan yang sering digunakan untuk mewakili bensin mempunyai titik didih sebesar 125,6 °C (Wiratmaja, 2010).

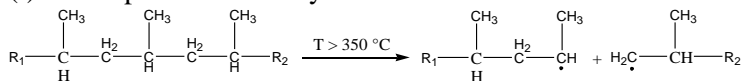
2.6. Metode Konversi

Proses reaksi yang berfungsi untuk memperbaiki struktur dan susunan rantai produk suatu bahan bakar yang bernilai rendah menjadi produk bahan bakar yang berharga seperti bensin dilakukan dengan metode konversi. Proses konversi dapat berlangsung secara termal maupun dengan bantuan katalis melalui perengkahan. Reaksi perengkahan merupakan reaksi pemutusan ikatan C-C dari rantai karbon panjang dan berat molekul besar menjadi hidrokarbon dengan rantai karbon pendek dan berat molekul kecil (Sibarani, 2012).

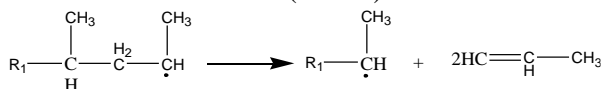
2.6.1. Perengkahan Termal

Pada proses perengkahan termal menggunakan temperatur tinggi yang kemudian menghasilkan fragmen-fragmen radikal yang cenderung akan mengalami oligomerisasi (Sibarani, 2012). Mekanisme perengkahan termal menunjukkan :

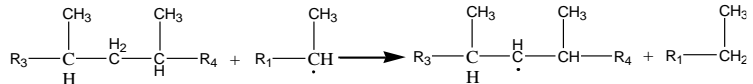
(i). Tahap 1 : terbentuknya radikal



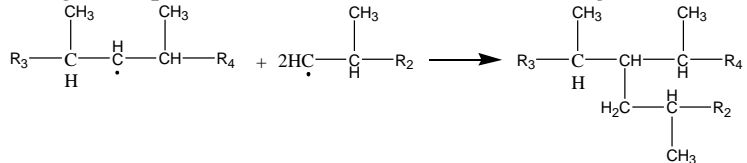
(ii). Tahap 2 : terjadi pemotongan pada posisi beta membentuk olefin (alkena) dan radikal baru



(iii). Tahap 3 : radikal yang dihasilkan pada tahap 2 menyerang polimer lain dan membentuk parafin (alkana) dan radikal yang baru



(iv). Tahap 4 : radikal akan saling bertemu mengalami polimerisasi kembali membentuk oligomer

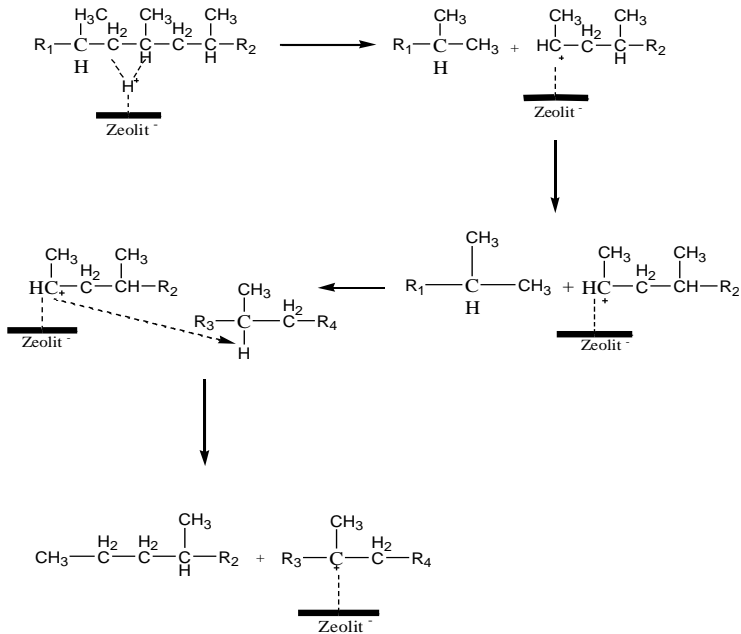


(Sibarani, 2012)

Pada temperatur $> 350^\circ\text{C}$ plastik akan meleleh dan berubah menjadi gas. Proses pendinginan dilakukan pada gas yang akan terkondensasi dan membentuk cairan. Cairan tersebut yang nantinya menjadi bahan bakar berupa bensin (Syamsiro, 2015).

2.6.2. Perengkahan Katalitik

Pada perengkahan katalitik merupakan proses perengkahan termal yang dimodifikasi dengan penambahan katalis. Proses perengkahan menggunakan katalis zeolit akan banyak menghasilkan senyawa fraksi bahan bakar sebagai produknya (Satterfield, 1980). Penggunaan katalis pada proses perengkahan ini dapat mereduksi suhu tinggi yang digunakan selama reaksi perengkahan termal serta menghemat konsumsi energi.



Gambar 2. 3 Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilena dengan Zeolit (Sibarani, 2012)

Pada gambar 2.3 ditampilkan kemungkinan mekanisme perengkahan katalitik pada polipropilena. Adsorpsi di sisi aktif katalis membentuk ikatan kompleks intermediet. Hidrokarbon yang teradsorpsi mengalami protonasi. Hidrokarbon yang terprotonasi mengalami pemutusan ikatan. Salah satu hasil pemutusan ikatan adalah terbentuknya ion karbonium dan parafin. Ion karbonium yang terbentuk kemudian menyerang atom H pada hidrokarbon yang lain dan

membentuk produk yang stabil. Hidrokarbon yang diserang membentuk ion karbonium dan berikatan dengan katalis.

Polimer dengan rantai tunggal akan lebih mudah diprotonasi dengan sisi asam katalis untuk membentuk ion karbonium bila didukung dengan temperatur tinggi. Keberadaan katalis ini akan membantu meningkatkan hasil konversi per satuan waktu dibandingkan tanpa katalis. Mekanisme perengkahan melalui ion karbonium akan menghasilkan berbagai macam produk karena intermediet karbonium mengalami berbagai reaksi samping seperti isomerisasi, siklisasi, dan aromatisasi (Sibarani, 2012).

2.7. Karakterisasi Bahan Bakar

2.7.1. Densitas

Densitas fluida didefinisikan sebagai massa per satuan volume. Densitas dapat sangat bervariasi di seluruh bagian fluida, khususnya dalam kondisi mengalir pada gas. Densitas (ρ) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$\rho = \frac{\text{massa sampel}}{\text{volume}} \quad (2.1)$$

Massa jenis atau yang biasa disebut densitas merupakan suatu indikator banyaknya zat-zat pengotor hasil reaksi. Jika massa jenis suatu bahan bakar melebihi ketentuan, maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan mesin (Setiawati & Edwar, 2012). Pada umumnya, suatu bahan bakar harus memiliki nilai densitas yang rendah agar mudah dialirkan dan diatomisasi. Putaran mesin yang cepat menuntut proses injeksi bahan bakar yang cepat pula (Prihandana dkk., 2006).

2.7.2. Viskositas

Viskositas atau kekentalan didefinisikan sebagai ketahanan fluida terhadap aliran. Pada umumnya viskositas dinyatakan dalam ukuran waktu yang diperlukan untuk mengalirkan cairan melalui tabung atau alat yang disebut viskometer Ostwald seperti pada gambar 2.4. Jika nilai viskositas rendah, maka fluida semakin mudah mengalir. Sebaliknya, jika nilai viskositas tinggi, maka fluida semakin sulit mengalir. Nilai viskositas suatu bahan bakar bergantung pada kandungan fraksi ringan dan temperatur di sekitarnya (Nugroho, 2006).



Gambar 2. 4 Viskometer Ostwald

Menurut Setiawati dan Edwar (2012), apabila suatu bahan bakar terlalu encer, maka akan sulit terbakar dan menyebabkan kebocoran pipa injeksi. Nilai viskositas yang tinggi kemudian dijelaskan oleh Hambali dkk., (2007) dapat menyulitkan pemompaan atau pemasukan bahan bakar dari tangki ke ruang bahan bakar mesin dan menyebabkan

atomisasi lebih sukar terjadi. Hal ini dapat mengakibatkan pembakaran kurang sempurna dan menimbulkan endapan pada nosel.

Pengukuran viskositas dapat dilakukan menggunakan alat viskositas Ostwald seperti pada gambar 2.4 yang dinyatakan oleh Poseuile. Satuan viskositas dalam SI adalah N sec m^{-2} , sedangkan satuan viskositas dalam cgs adalah dyne sec cm^{-2} atau poise (Atkins & Paula, 2010).

2.7.3. Titik Nyala

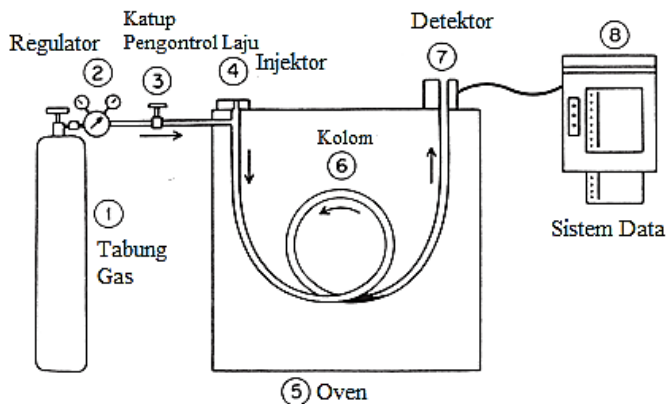
Titik nyala merupakan temperatur dimana timbul sejumlah uap dengan udara membentuk suatu campuran yang mudah menyala. Titik nyala dapat diukur dengan jalan melewati nyala api pada sampel bahan bakar cair yang dipanaskan secara bertahap. Kualitas penyalan suatu bahan bakar perlu dilakukan pengujian yang berhubungan dengan kelambatan penyalan (Aziz, 2010). Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar untuk terbakar (Setiawati & Edwar, 2012).

Titik nyala dari suatu bahan bakar cair adalah temperatur minimum fluida pada waktu uap yang keluar dari permukaan fluida langsung menyala. Jika temperatur naik sedikit, yang disebut titik api (*fire point*), dapat menyebabkan uap membantu pembakaran. Oleh karena itu, perlu diwaspadai agar temperatur maksimum suatu bahan bakar tidak melebihi titik nyalanya (Nugroho, 2006).

2.7.4. Gas Chromatography-Mass Spectrometry

Gas chromatography-mass spectrometry merupakan suatu instrumen yang terdiri dari dua metode analisis. Kromatografi gas berfungsi sebagai pemisah komponen dalam suatu senyawa, sedangkan spektrometri massa berfungsi untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas (Agusta, 2000).

Gas chromatography merupakan pemisahan campuran menjadi konstituennya dalam fase gerak berupa gas yang melalui fase diam yang berupa sorben. Sampel diuapkan dan diinjeksi ke pangkal kolom kromatografi. Elusi kemudian dibawa mengalir mengikuti gas inert sebagai fase gerak (Skoog dkk., 2014).



Gambar 2. 5 Skema Sederhana Instrumen Kromatografi Gas (McNair & Miller, 1998)

Gas chromatography dapat digunakan untuk analisis kualitatif maupun kuantitatif. Analisa kualitatif dilakukan dengan cara membandingkan waktu retensi dari komponen

yang dianalisis dengan waktu retensi zat pembanding pada kondisi analisis yang sama. Sementara untuk analisis kuantitatif dilakukan dengan cara perhitungan relative dari luas puncak kromatogram komponen yang dianalisis terhadap zat baku pembanding yang dianalisis (Mc Nair, 1998; Johnson, 1991).

Skema sederhana instrumen GC-MS dapat ditampilkan pada gambar 2.5. Unsur-unsur dalam GC-MS yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Kolom

Kolom merupakan tempat sampel yang akan dianalisis sehingga beberapa komponen dapat dipisahkan dan terelusi dalam waktu yang berbeda (Adnan, 1997). Kolom GC-MS ada dua macam, yaitu kolom kemas dan kolom kapiler.

Kolom kemas adalah pipa yang terbuat dari plastik, logam, atau kaca yang berisi penyangga padat inert. Penyangga padat ini kemudian akan menyerap atau mengikat secara kimia fasa diam baik berwujud cair maupun padat. Panjang kolom kemas sekitar 0,5-6 meter dengan diameter sekitar 2-4 mm (Agusta, 2000).

Kolom kapiler merupakan kolom yang sering dijumpai pada GC-MS karena memiliki beberapa keuntungan bila dibandingkan dengan kolom kemas. Salah satu keuntungan kolom kapiler, yaitu jumlah sampel yang dibutuhkan tidak terlalu banyak begitu pula dengan gas pembawanya, dan hasil pemisahan yang lebih sempurna. Berdasarkan diameternya kolom kapiler dibedakan menjadi 4, yaitu *Narrow Bore*, *Middle Bore*, *Semi Wide Bore*, dan *Wide Bore* (Agusta, 2000).

2. Gas Pembawa

Gas pembawa dalam pengujian GC-MS harus memenuhi beberapa syarat diantaranya, yaitu murni, mudah diperoleh, dan sifatnya yang inert. Gas pembawa dikatakan inert apabila gas tidak bereaksi dengan sampel, pelarut sampel, dan material dalam kolom. Pemilihan gas pembawa juga tergantung oleh detektor yang dipakai. Penggunaan gas pembawa yang kemurniannya rendah akan mempengaruhi analisis sampel, yaitu munculnya puncak yang bukan berasal dari sampel serta *baseline* kromatogram yang tidak rata (Agusta, 2000). Salah satu cara untuk mengatasinya, yaitu gas pembawa sebelumnya dialirkan melalui penyaring molekul untuk menghilangkan uap air yang masih terdapat di dalamnya. Helium merupakan salah satu gas pembawa yang sering dijumpai pada GC-MS karena sifatnya yang ringan dan relatif mudah dihilangkan dengan sistem pompa hampa. Aliran gas pembawa melalui kolom diukur dalam satuan mL/menit (Munson, 1991).

3. Fase Diam

Berdasarkan wujudnya fase diam umumnya ada dua jenis, yaitu fase diam padat dan fase diam cair. Berdasarkan kepolarannya, fase diam dibedakan menjadi empat, yaitu nonpolar, sedikit polar, semi polar, dan sangat polar (Agusta, 2000). Pemilihan fase diam cair pada suatu kolom didasarkan atas pedoman *like dissolves like*. Hal ini menjelaskan bahwa sampel yang bersifat polar akan terpisah dengan baik bila menggunakan fase diam yang bersifat polar juga (Adnan, 1997).

4. Detektor

Detektor dalam GC-MS adalah spektroskopi massa yang terdiri atas sistem ionisasi dan sistem analisis. Spektroskopi massa berdasarkan atas ionisasi dari molekul solut dalam sumber ion dan pemisahan ion didasarkan dari hasil unit analisis rasio massa. Spektroskopi massa dapat mendeteksi senyawa dalam jumlah mikrogram (Megawati, 2010).

5. Suhu

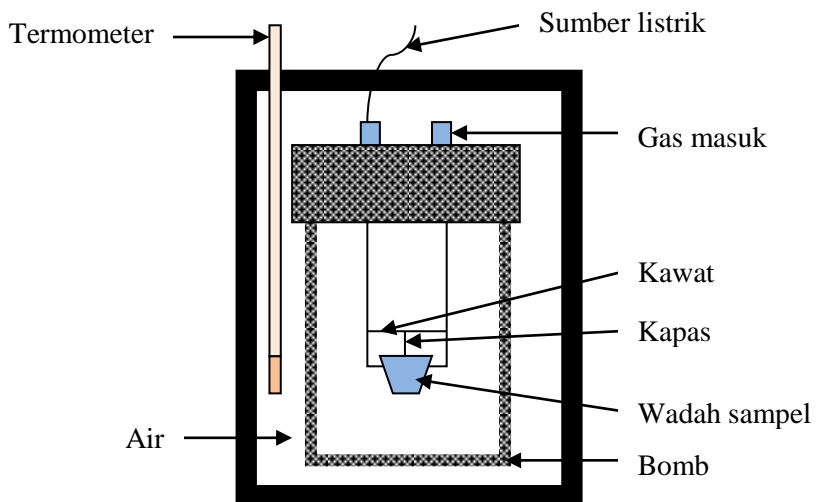
Ada tiga jenis suhu yang penting dalam analisis menggunakan GC-MS, yaitu suhu tempat injeksi, suhu kolom, dan suhu detektor. Suhu tempat injeksi harus cukup rendah untuk menguapkan sampel. Suhu tempat injeksi tidak diizinkan jika terlalu tinggi karena akan terjadi perubahan oleh panas atau peruraian dari molekul-molekul. Suhu pada kolom harus cukup tinggi sehingga analisis dapat diselesaikan dalam waktu tidak terlalu lama. Suhu detektor harus cukup panas, sehingga sampel dan hasil samping yang terbentuk pada proses pengionan tidak mengembun (McNair & Miller, 1998).

6. Sistem Injeksi

Cuplikan dimasukkan ke dalam ruang suntik melalui gerbang suntik (*injection port*), biasanya berupa lubang yang ditutupi dengan septum atau pemisah karet (*rubber septum*). Ruang suntik harus dipanaskan tersendiri, terpisah dari kolom, dan biasanya pada suhu 10-15°C lebih tinggi dari suhu kolom. Jadi seluruh cuplikan diuapkan segera setelah disuntikkan dan dibawa ke kolom (Gritter RJ, 1985).

2.7.5. Kalor

Proses yang menghasilkan panas disebut eksotermis dan proses yang memerlukan panas disebut endotermis. Pengukur panas telah dikembangkan dengan menggunakan beragam peralatan yang secara umum disebut kalorimeter. Nilai kalor disebut juga *heat value* (H) menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu bahan per satuan massa setelah terbakar sempurna. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka energi yang dihasilkan pun akan semakin efisien, karena menghasilkan panas yang lebih besar dengan massa yang sedikit (Irzon, 2012). Aplikasi perangkat *bomb calorimeter* dapat menentukan kualitas bahan bakar minyak seperti bensin (Kumar dkk., 2011).



Gambar 2. 6 Skema sederhana bomb-kalorimeter
(Irzon, 2012)

Bomb merupakan wadah platinum kedap air yang mana akan terjadi *bombing* terhadap sampel dan kemudian dapat diukur panas yang dihasilkan. Pada *bomb* memiliki kawat, suatu logam yang akan memanaskan dengan aliran listrik. Pada kawat ini diikatkan selembur kapas. Energi listrik akan mengalir dan memanaskan kawat. Kapas akan terbakar akibat panasnya kawat dan dengan energi itu juga akan membuat sampel terbakar. Terbakarnya kapas juga dibantu dengan gas oksigen yang telah dialirkan ke dalam *bomb* pada tahap awal (Irzon, 2012).

Prinsip kerja dari *bomb calorimeter* yaitu bekerja pada sistem terisolasi (tidak ada perpindahan baik energi maupun massa). Reaksi yang terjadi di dalam *bomb calorimeter* akan menghasilkan kalor dan akan diserap oleh air dan *bomb* pada suhu yang sama. Kalor yang dihasilkan ditunjukkan dengan adanya kenaikan suhu air yang terbaca oleh termometer. Prinsip *bomb calorimeter* yang terisolasi tidak memungkinkan adanya kalor yang terbuang ke lingkungan, sehingga kalor reaksi sama dengan kalor yang diserap oleh air dan bom (Chang, 2003). Persamaan kalor pembakaran yang berlaku adalah sebagai berikut :

$$q_{\text{reaksi}} = q_{\text{air}} + q_{\text{bomb}} \quad (2.2)$$

$$q_{\text{reaksi}} = (m \times c \times \Delta T) + (C_{\text{bomb}} \times \Delta T) \quad (2.3)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

3.1. Alat dan Bahan

3.1.1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain labu leher tiga, viskometer Oswald, piknometer, hotplate, termometer, stopwatch, timbangan analitik, kondensor, connector, pompa air, gelas ukur, erlenmeyer, bomb kalorimeter IKA C200, dan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)* jenis GC-MS-QP2010S SHIMADZU.

3.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu bahan bakar cair hasil pirolisis limbah plastik propilena, Al-MCM-41 yang diperoleh dari sintesis penelitian Juwono dkk., (2013), katalis pendukung berupa serbuk keramik, gas nitrogen (99,99% UHP), dan aqua demineralisasi.

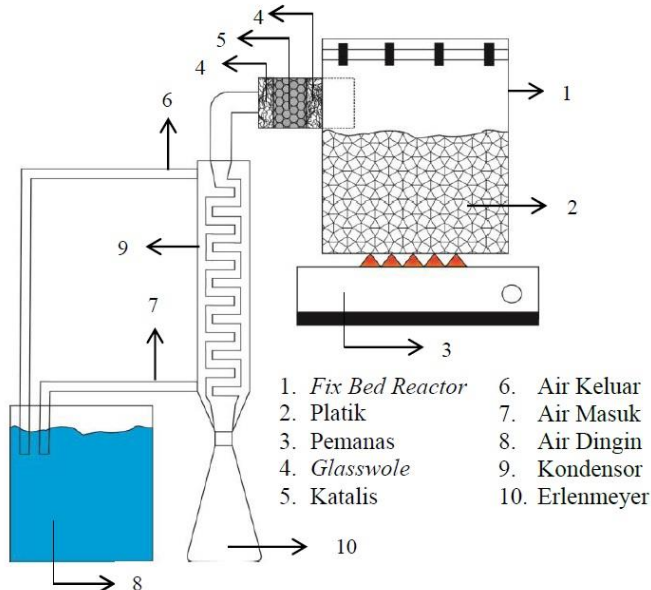
3.2. Prosedur Kerja

3.2.1. Sumber Bahan

Feedstock yang digunakan pada penelitian ini yaitu bahan bakar cair yang didapatkan dari hasil pirolisis limbah plastik *Polypropylene (PP)* pada kemasan gelas air mineral menggunakan metode perengkahan katalitik yang telah dilakukan oleh Sujatmiko (2017).

Pirolisis katalitik limbah plastik dilakukan menggunakan reaktor tertutup tipe *fluidized bed* seperti pada gambar 3.1. Reaktor terbuat dari logam aluminium berkapasitas 20 L yang memiliki tinggi 360 mm dan diameter 310 mm. *Fluidized bed reactor* memiliki ruang terpisah antara

sampel (reaktan) dengan katalis. Temperatur yang dibutuhkan pada proses pemanasan mencapai 500°C . Hidrokarbon yang diperoleh dilewatkan dalam tabung berisikan katalis, kemudian dikondensasi menjadi bahan bakar cair oleh kondensor. Bahan bakar cair yang diperoleh dari proses *catalytic cracking* ditampung pada bagian bawah sistem.

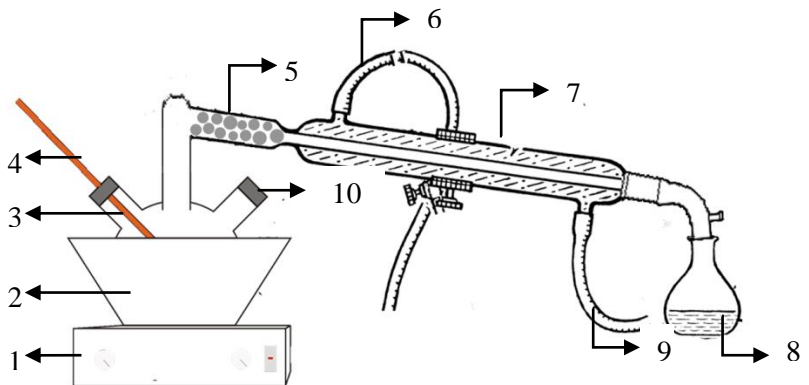


Gambar 3. 1Reaktor Pirolisis

3.2.2. Produksi Bahan Bakar Cair Hasil Konversi Katalitik

Produksi bahan bakar cair hidrokarbon hasil konversi katalitik dilakukan dengan alat seperti pada gambar 3.2. Tabung katalis terpisah dengan wadah sampel bahan bakar cair sesuai dengan tipe reaktor *fluidized bed*. Pasir sebagai media penghantar panas antara labu leher tiga dengan

feedstock dipanaskan pada suhu 200°C selama satu jam. Sebanyak 200 mL *feedstock liquid* dimasukkan ke dalam labu leher tiga bersamaan dengan keramik yang bertindak sebagai batu didih. Pada salah satu leher labu dialirkan gas nitrogen dan pada leher yang lainnya diletakkan termometer untuk mengukur suhu saat sintesis berlangsung. *Feedstock* dapat dipanaskan sampai suhu 200°C. Uap yang terbentuk dilewatkan dalam tabung berisi katalis, kemudian dikondensasikan dengan air pendingin dan ditampung dalam erlenmeyer. Katalis yang digunakan adalah Al-MCM-41 yang dicampur dengan serbuk keramik. Perbandingan serbuk keramik dengan Al-MCM-41 yang digunakan yaitu 3 : 7 yang kemudian dibentuk menjadi pelet. Sintesis pada penelitian ini dilakukan selama 5 jam dan pengulangan sebanyak 3 kali.



Gambar 3. 2 Reaktor Konversi Katalitik

Keterangan :

- | | |
|----------------------|---------------------------|
| 1. Hot plate | 6. Water out |
| 2. Wadah pasir panas | 7. Kondensor |
| 3. Labu leher tiga | 8. Wadah penampung produk |
| 4. Termometer | 9. Water in |
| 5. Katalis | 10. Jalur N ₂ |

Bahan bakar cair hidrokarbon dengan variasi katalis 3,72% (b/v) kemudian bisa disebut dengan jenis A, pada variasi katalis 4,28% (b/v) disebut dengan jenis B, dan pada variasi katalis 5,59% (b/v) yang ditandai dengan simbol C. Sebagai pembanding dari bahan bakar cair hidrokarbon yang dihasilkan pada penelitian, maka digunakan bahan bakar minyak komersil jenis premium yang kemudian disebut *reference* (R).

3.3. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

3.3.1. Densitas

Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan menggunakan piknometer 10,194 mL pada suhu 40°C. Piknometer ditimbang berat kosongnya lalu diisi produk bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer, lalu ditimbang beratnya dan dihitung densitasnya.

$$\text{Densitas} = \frac{m_{\text{piknometer+sampel}} - m_{\text{piknometer}}}{V_{\text{piknometer}}} \quad (3.1)$$

3.3.2. Titik Nyala

Produk bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap yang diletakkan di atas penangas. Lidi yang sudah disulut api kemudian dilewatkan di permukaan sampel. Nyala

api yang muncul diukur suhunya oleh termometer yang terletak di atas cawan penguap.

3.4.3. Titik Didih

Produk bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap yang diletakkan di atas pemanas. Termometer digantung di atas cawan penguap dengan permukaan yang menempel pada sampel. Sampel bahan bakar cair dipanaskan hingga titik didih produk tercapai dan diukur suhunya oleh termometer.

3.4.4. Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik bahan bakar cair diukur dengan viskometer Ostwald. Pengujian viskositas bahan bakar cair melibatkan aquades sebagai pembanding. Aquades dimasukkan ke dalam viskometer Ostwald dan dicatat waktu alirnya dari batas atas hingga batas bawah kapiler. Pengujian yang sama dilakukan pada sampel bahan bakar cair pada suhu 40 °C. Nilai viskositas diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$\eta = \eta_0 \frac{t \cdot \rho}{t_0 \cdot \rho_0} \quad (3.3)$$

Keterangan : η = Viskositas kinematik bahan bakar cair

η_0 = Viskositas kinematik aquades

t = Waktu alir bahan bakar cair

t_0 = Waktu alir aquades

ρ = Densitas bahan bakar cair

ρ_0 = Densitas aquades

3.4.5. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

Secara kimia karakteristik produk bahan bakar cair dapat dilakukan dengan alat *chromatography gas-mass spectrometry* untuk menentukan *yield* tiap fraksi senyawa hidrokarbon bahan bakar. *chromatography gas-mass spectrometry* massa dikondisikan sebagai berikut:

Inlets

Jumlah suntikan: 1 μL
Suhu : 250°C
Tekanan : 60,4 kPa
Ratio : 69,4

Oven

Suhu awal : 60°C
Suhu akhir : 200°C
Hold time : 42 menit
Laju : 5°C/menit

Kolom

Tipe : Agilent DB-624
Gas : Helium
Aliran gas : 3,0 mL/menit

3.4.6. Kalor

Pengukuran kalor pada sampel bahan bakar cair menggunakan bomb kalorimeter. Sebanyak 0,5 gram produk bahan bakar cair dimasukkan ke dalam krusibel dan dimasukan ke dalam baja bom. Baja bom ditutup rapat dan dialiri oksigen (O_2) hingga tekanan 30 atm, kemudian dimasukkan ke dalam kalorimeter yang sudah berisi air. Proses

pembakaran dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap ditampilkan pada monitor.

3.4.7. Perhitungan Perolehan Yield

Perolehan *yield* bahan bakar cair hasil sintesis dapat dihitung dengan membandingkan volume produk dengan volume *feedstock* dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Yield} = \frac{\text{volume}_{\text{produk}}}{\text{volume}_{\text{feedstock}}} \times 100\% \quad (3.3)$$

Persentase komposisi fraksi hidrokarbon bahan bakar cair yang diperoleh dari luas area kromatogram dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\% \text{ komposisi fraksi hidrokarbon} = \frac{\text{Luas area}_{\text{target}}}{\text{Luas area}_{\text{total}}} \times 100\% \quad (3.4)$$

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Sintesis Bahan Bakar Cair Hasil Konversi

Katalitik

Pada penelitian ini telah berhasil dilakukan sintesis bahan bakar cair hasil konversi katalitik yang memiliki spesifikasi seperti bensin. Sintesis dilakukan dengan *feedstock* dari hasil pirolisis limbah plastik jenis propilena menggunakan batuan katalis sehingga mendapatkan hasil terbaik pada fraksi hidrokarbon C8-C13. Katalis yang digunakan dalam sintesis ini yaitu material Al-MCM-41 yang disupport oleh serbuk keramik. Sintesis bahan bakar cair hidrokarbon menggunakan campuran katalis Al-MCM-41 dan serbuk keramik dengan perbandingan 7 : 3. Keberadaan keramik dalam katalis ini bertujuan untuk mempertahankan kondisi panas pada katalis, sehingga keaktifan katalis meningkat selama proses sintesis. Katalis yang digunakan pada penelitian berbentuk pelet karena densitas yang dimiliki oleh campuran serbuk keramik dengan katalis Al-MCM-41 rapat. Katalis yang dibentuk menjadi pelet ini bertujuan dapat melewati gas hidrokarbon melalui pori-pori antar pelet, sehingga reaktan dan katalis dapat bereaksi pada permukaan selektifnya (Perego & Villa, 1997). Pada penelitian ini dilakukan pengujian optimasi jumlah katalis dengan variasi berat katalis sebesar 3,72%; 4,28%; 5,59% (b/v).

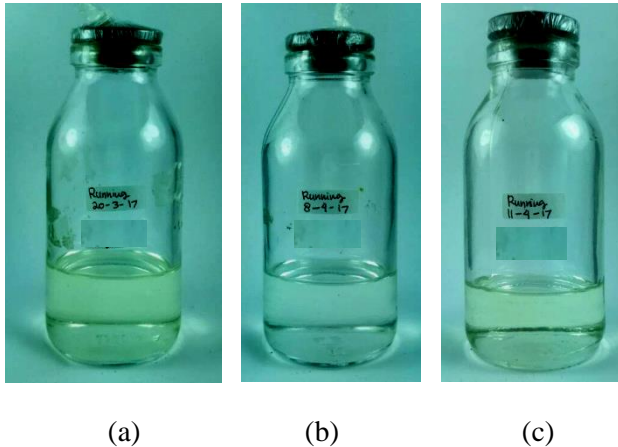
Prinsip yang digunakan dalam penelitian ini adalah destilasi. Penyusunan alat destilasi dapat ditunjukkan pada gambar 3.2. Sebanyak 200 mL bahan bakar cair hasil pirolisis dari limbah plastik polipropilena (*feedstock*) dimasukkan ke dalam labu leher tiga dan ditambahkan dengan keramik.

Penambahan keramik dalam sintesis bahan bakar cair hidrokarbon ini bertujuan agar pemanasannya merata. Temperatur *feedstock* diukur dengan termometer yang diletakkan di salah satu leher pada labu dan temperatur selama proses sintesis yang terbaca sebesar 200 °C. Pada Leher yang lain sebagai tempat masuknya gas N₂. Pemanasan limbah plastik menjadi bahan bakar cair dalam kondisi bebas oksigen, sehingga diperlukan adanya N₂ saat proses sintesis (Nugraha dkk., 2013). Gas hidrokarbon yang terbentuk selama proses sintesis kemudian dikondensasi oleh kondensor menjadi bahan bakar cair hidrokarbon yang ditampung di dalam erlenmeyer. Waktu sintesis bahan bakar cair hidrokarbon yang dibutuhkan secara keseluruhan selama 5 jam tiap 200 mL *feedstock*. Hasil sintesis bahan bakar cair hidrokarbon ditunjukkan pada gambar 4.1.

Produk yang diperoleh dari percobaan ini berupa bahan bakar cair hidrokarbon. Perlu dilakukan pengujian produk agar memenuhi baku standar bahan bakar bensin yang diizinkan. Pengujian fisik bahan bakar cair hidrokarbon meliputi titik nyala, titik didih, viskositas menggunakan viskometer oswald, uji kalori menggunakan kalorimeter bom, densitas menggunakan piknometer, dan uji pemisahan senyawa dengan instrumen GC-MS.

Hasil pengujian fisik yang dilakukan kemudian dibandingkan dengan standar bahan bakar minyak yang berlaku di Indonesia untuk mengetahui kelayakannya. Spesifikasi mutu bahan bakar minyak di Indonesia telah diatur dalam regulasi Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-3506-1994 jenis bensin yang dikeluarkan oleh Badan Standarisasi Nasional (BSN). Spesifikasi mutu bahan bakar minyak jenis

bensin menurut SNI 06-3506-1994 dapat ditunjukkan pada tabel 4.1.



Gambar 4. 1 Produk Bahan Bakar Cair dengan Variasi Jumlah Katalis (a) 3,72% (b/v) ; (b) 4,28% (b/v) ; 5,59% (b/v)

Mutu bahan bakar cair yang dihasilkan juga dibandingkan dengan standar Internasional ASTM D 4814-14 untuk spesifikasi *gasoline* (Kavanagh, 2014). Adapun spesifikasi *gasoline* menurut ASTM D 4814-14 dapat ditunjukkan pada tabel 4.1. Sebagai tambahan juga dilampirkan baku mutu internasional yang dikeluarkan oleh *Shell Petroleum* Canada tahun 1999 tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin tanpa timbal.

Tabel 4. 1 Standar Mutu Bensin

Karakteristik	SNI 06-3506-1994			ASTM D 4814-14		
	Satuan	Batasan		Satuan	Batasan	
		Min	Maks		Min	Maks
Angka oktana riset	RON	88,0	-	RON	87	91
Kandungan timbal	g/L	-	0,46	g/l	-	0,013
Distilasi :						
- 10% vol. penguapan	°C	-	74	°C	-	70
- 50% vol. penguapan	°C	88	125	°C	77	121
- 90% vol. penguapan	°C	-	180	°C	-	190
- Titik didih akhir	°C	-	205	°C	-	225
- Residu	% vol	-	2,0	% vol	-	2,0
Tekanan uap Reid (100 °F)	Psi	-	9,0	kPa	-	103
Getah Purwa	mg/100 mL	-	4,0	mg/100 mL	-	5,0
Periode induksi	Menit	240	-	Menit	240	-
Kandungan sulfur	% berat	-	0,20	ppm	-	80

4.2. Karakterisasi Bahan Bakar Cair

4.2.1. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)

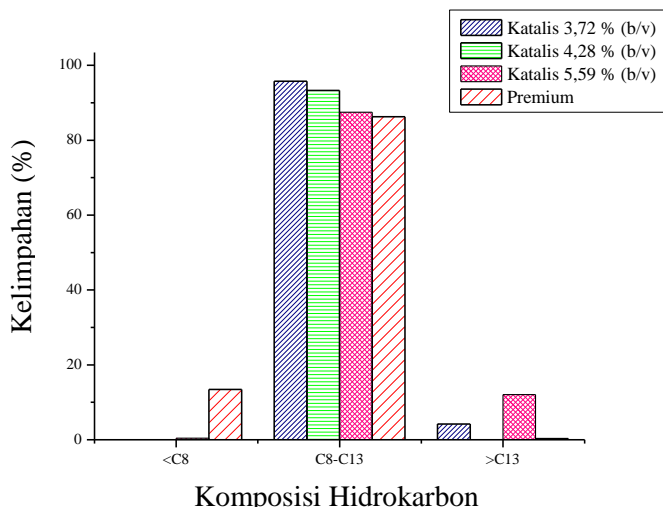
Bahan bakar cair hidrokarbon hasil sintesis kemudian dikarakterisasi menggunakan instrumen GC-MS-QP2010S SHIMADZU dengan tipe kolom Agilent DB-624 panjang 30 meter, diameter dalam 0,25 mm, dan helium sebagai gas pembawa. Teknik karakterisasi menggunakan GC-MS bertujuan sebagai pemisah komponen dalam suatu senyawa, kemudian dilanjutkan oleh spektrometri massa untuk mendeteksi masing-masing molekul komponen yang telah dipisahkan pada kromatografi gas tersebut.

Analisa yang telah dilakukan menghasilkan beberapa komposisi fraksi hidrokarbon, yaitu fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1-C7), fraksi bensin (C8-C13), dan fraksi hidrokarbon rantai panjang (C14-C19). Fraksi bensin (C8-C13) merupakan fraksi yang dominan muncul pada ketiga jenis bahan bakar cair. Persentase perolehan komposisi fraksi hidrokarbon ketiga bahan bakar cair hasil penelitian kemudian dibandingkan dengan persentase perolehan fraksi hidrokarbon pada premium yang ditunjukkan pada tabel 4.3.

Tabel 4. 2 Persentase perolehan fraksi hidrokarbon pada bahan bakar cair hasil penelitian dan premium

Fraksi hidrokarbon	Perolehan fraksi hidrokarbon pada bahan bakar cair hasil penelitian (%)			Perolehan fraksi hidrokarbon pada premium (%)
	Jenis A	Jenis B	Jenis C	
C1-C7	0	0	0,44	13,44
C8-C13	95,78	93,33	87,49	86,27
C14-C19	4,22	6,67	12,07	0,29

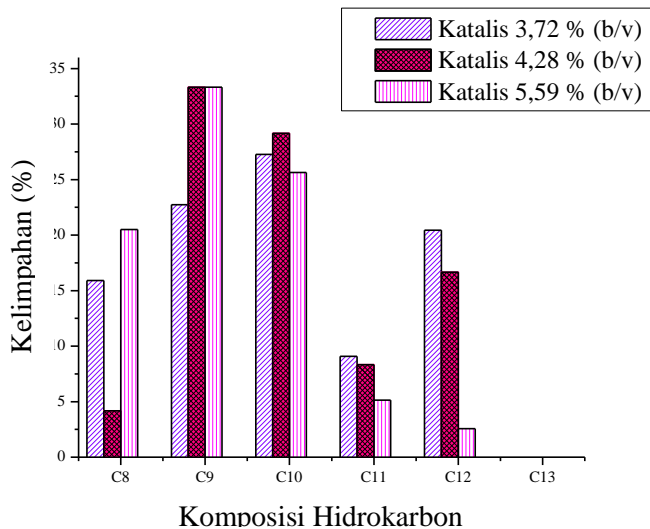
Berdasarkan tabel 4.3 pada penelitian terjadi penurunan persentase perolehan komposisi hidrokarbon fraksi bensin C8-C13 dan terjadi peningkatan persentase perolehan komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1-C7) serta rantai panjang (C14-C19). Hubungan komposisi hidrokarbon yang diperoleh dengan kelimpahan setiap variasi jumlah katalis dapat ditampilkan pada gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Komposisi Fraksi Hidrokarbon

Pada gambar 4.2 terjadi penurunan kelimpahan fraksi bensin (C8-C13) dengan adanya peningkatan jumlah katalis yang digunakan. Hal ini bisa terjadi karena dengan bertambahnya katalis, maka kerapatan antar pori pada katalis semakin besar sehingga laju alir reaktandan tekanan yang dibutuhkan semakin meningkat. Adanya laju alir yang semakin meningkat, maka waktu tinggal reaktan akan semakin berkurang sehingga kontak antara reaktan dengan

katalis di dalam reaktor *fluidized bed* semakin cepat pula dan mengakibatkan turunnya produk yang dihasilkan (Julianti dkk., 2014). Sebaliknya, terjadi peningkatan perolehan komposisi fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1-C7) dan fraksi hidrokarbon rantai panjang (C14-C19). Peningkatan kelimpahan fraksi hidrokarbon rantai pendek maupun rantai panjang bisa terjadi karena reaktor yang digunakan dalam penelitian belum cukup efisien. Miskolczi dkk., (2004) menjelaskan bahwa kuantitas dan kualitas produk yang dihasilkan dari perengkahan plastik dipengaruhi oleh beberapa parameter antara lain tipe reaktor, temperatur, dan waktu tinggal di dalam reaktor. Kelimpahan komposisi fraksi bensin (C8-C13) setiap variasi jumlah katalis dapat diamati pada gambar 4.3.



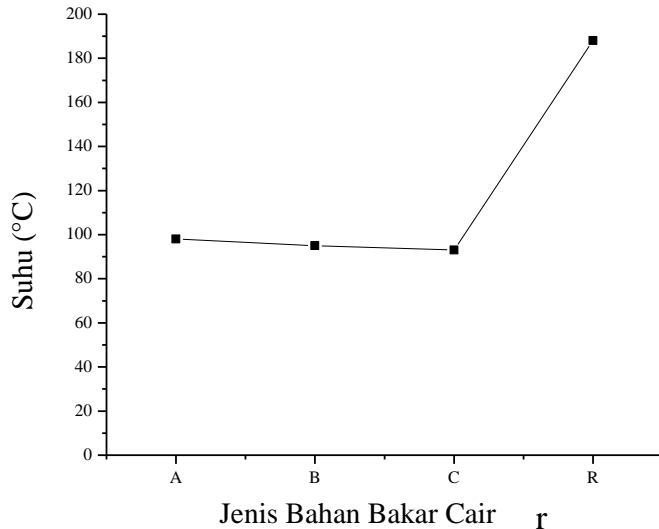
Gambar 4. 3 Komposisi Fraksi Bensin

Kelimpahan komposisi fraksi bensin (C8-C13) tiap jenis bahan bakar cair yang ditampilkan gambar 4.3 menunjukkan adanya peningkatan kelimpahan hampir di setiap fraksi akibat variasi jumlah katalis yang digunakan. Sisi aktif katalis semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah katalis. Kelimpahan komposisi fraksi hidrokarbon terbesar didominasi oleh rantai karbon C9 sebesar 33,33% pada variasi jumlah katalis 4,28% (b/v) dan 5,59% (b/v). Hal ini menunjukkan bahwa produk utama reaksi perengkahan bahan bakar cair ini berupa rantai C9.

4.2.2. Titik Didih

Suatu bahan bakar harus mengalami penguapan untuk dapat bercampur dengan oksigen di udara. Bahan bakar yang sulit menguap akan menimbulkan *carbon residue* yang dapat mengotori mesin, sehingga diperlukan batasan spesifikasi titik didih pada suatu bahan bakar. Hasil pengujian titik didih bahan bakar cair hidrokarbon pada penelitian dapat diamati pada gambar 4.4.

Hasil pengujian titik didih pada bahan bakar cair hidrokarbon menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis, maka titik didih yang dicapai oleh bahan bakar semakin menurun. Penurunan titik didih suatu bahan bakar berkaitan dengan densitasnya. Semakin kecil nilai densitas bahan bakar, maka titik didih bahan bakar juga semakin kecil. Pada penelitian titik didih terendah dicapai oleh bahan bakar cair variasi jumlah katalis 5,59% (b/v) sebesar 93 °C.

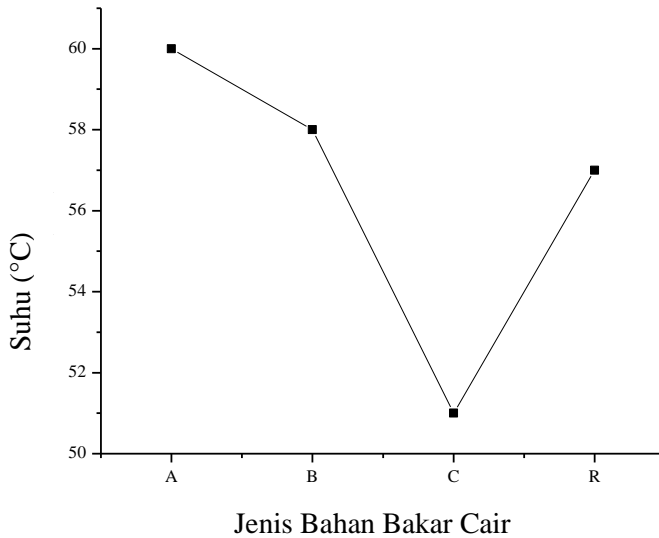


Gambar 4. 4Titik Didih Bahan Bakar Cair

Berdasarkan SNI 06-3506-1994 titik didih akhir bahan bakar yang diizinkan maksimal sebesar 205 °C. Titik didih yang dicapai oleh ketiga bahan bakar cair hidrokarbon hasil penelitian menunjukkan angka dibawah batas maksimal baku mutu yang berlaku, sehingga ketiga bahan bakar cair tersebut dapat diterima sebagai bahan bakar pengganti bensin.

4.2.3. Titik Nyala

Kualitas penyalaan suatu bahan bakar perlu dilakukan pengujian yang berhubungan dengan kelambatan penyalaan. Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan. Hasil pengujian titik nyala dapat diamati pada gambar 4.5.

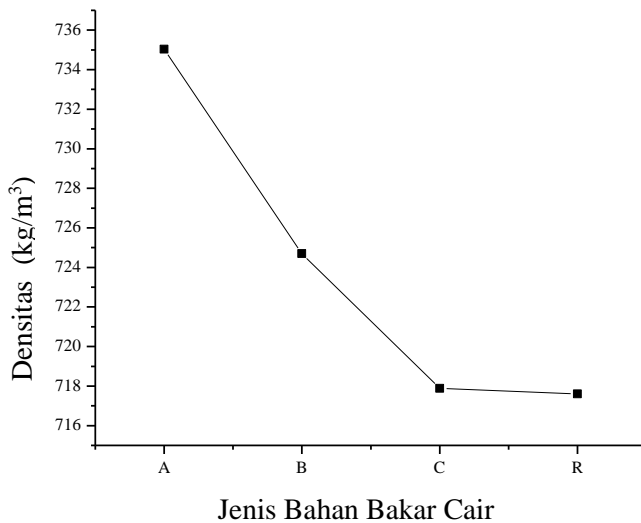


Gambar 4. 5 Titik Nyala Bahan Bakar Cair

Hasil pengujian titik nyala pada bahan bakar cair hidrokarbon menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis, maka titik nyala yang dicapai oleh bahan bakar semakin menurun. Pada bahan bakar cair hasil penelitian titik nyala terendah dicapai oleh bahan bakar cair variasi jumlah katalis 5,59% (b/v) sebesar 51 °C. Pengujian titik nyala kemudian dilanjutkan untuk bensin komersil jenis premium. Titik nyala yang dicapai bensin jenis premium ini sebesar 57 °C. Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan ketiga bahan bakar cair hasil penelitian. Titik nyala yang dicapai oleh ketiga bahan bakar cair hasil penelitian menunjukkan angka dibawah titik nyala bensin jenis premium, sehingga ketiga bahan bakar cair tersebut dapat diterima sebagai bahan bakar pengganti bensin.

4.2.4. Densitas

Densitas atau massa jenis suatu sampel menunjukkan perbandingan massa per satuan volume. Pada umumnya densitas bahan bakar harus memiliki nilai densitas yang rendah karena apabila nilai densitas bahan bakar terlalu tinggi maka akan meningkatkan keausan mesin dan menyebabkan kerusakan pada mesin (Setiawati & Edwar, 2012). Pada penelitian ini pengukuran densitas menggunakan piknometer dengan volume sebesar 10,194 mL pada suhu 40 °C. Hasil pengujian densitas bahan bakar cair pada penelitian dan bahan bakar komersil jenis premium dapat ditunjukkan pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Densitas Bahan Bakar Cair

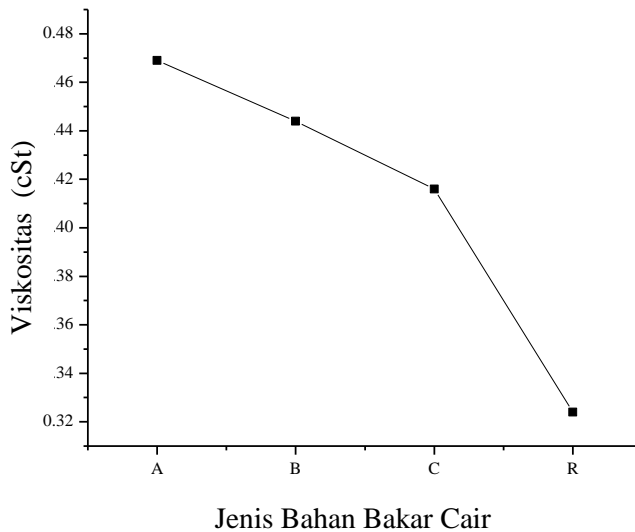
Pada gambar 4.6 menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan katalis, maka densitas bahan bakar cair hidrokarbon semakin menurun. Densitas terendah dimiliki

oleh bahan bakar cair variasi katalis 5,59% (b/v) sebesar 717,90 kg/m³. Hasil tersebut memiliki selisih 0,0056% lebih tinggi dibandingkan dengan perolehan densitas pada bahan bakar cair jenis premium. Berdasarkan *Shell Petroleum Canada* tahun 1999 tentang pengujian spesifikasi bahan bakar minyak jenis bensin tanpa timbal, densitas bensin yang diizinkan untuk dipasarkan minimal sebesar 750 kg/m³ dan maksimal 850 kg/m³ pada suhu 15 °C. Densitas yang dihasilkan bahan bakar cair pada penelitian ini lebih kecil dibandingkan dengan baku mutu menurut *Shell Petroleum Canada*. Hal ini bisa terjadi karena adanya perbedaan suhu di setiap negara saat dilakukan pengujian.

4.2.5. Viskositas

Viskositas merupakan salah satu parameter fisik yang penting pada suatu bahan bakar. Viskositas erat kaitannya dengan kekentalan suatu bahan bakar. Jika bahan bakar terlalu kental, maka dapat menyulitkan aliran, pemompaan, serta penyalaan (Setiawati & Edwar, 2012). Pengukuran viskositas pada penelitian menggunakan viskometer ostwald pada suhu 40 °C. Hasil pengujian viskositas bahan bakar cair pada penelitian dan bahan bakar jenis premium dapat ditampilkan pada gambar 4.7.

Hasil pengujian viskositas bahan bakar cair pada penelitian menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan jumlah katalis, maka nilai viskositas semakin rendah. Viskositas terendah dimiliki oleh bahan bakar cair hidrokarbon dengan variasi katalis 5,59% (b/v) sebesar 0,416 cSt. Hasil tersebut 28,4% lebih tinggi bila dibandingkan dengan nilai viskositas pada bahan bakar jenis premium sebesar 0,324 cSt.



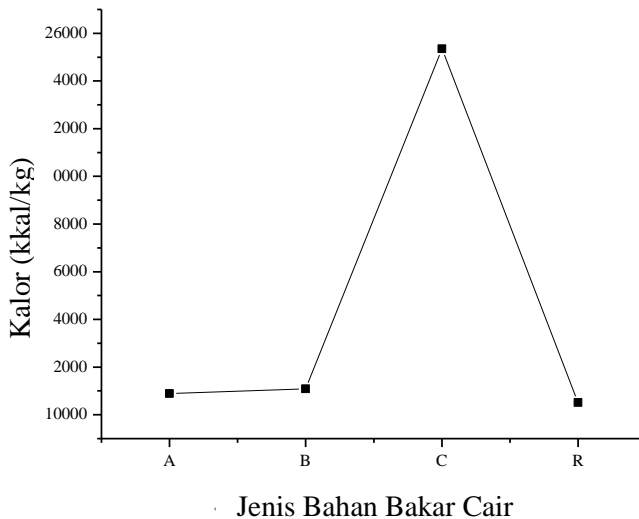
Gambar 4. 7Viskositas Bahan Bakar Cair

Berdasarkan baku mutu internasional yang dikeluarkan Shell *Petroleum* Canada tahun 1999 yang terdapat pada lampiran nilai viskositas yang diperbolehkan untuk bahan bakar jenis bensin adalah <1 cSt. Ketiga bahan bakar cair hasil penelitian sudah memenuhi standar baku mutu bensin yang diizinkan.

4.2.6. Kalor

Nilai kalor adalah suatu angka yang menyatakan jumlah panas yang dihasilkan dari proses pembakaran suatu bahan bakar dengan udara. Nilai kalor diukur menggunakan instrumen bomb kalorimeter IKA C200. Nilai kalor dari bahan bakar minyak umumnya berkisar antara 10.160-11.000

kkal/kg (Wiratmaja, 2010). Hasil analisis nilai kalor pada penelitian dapat ditunjukkan pada gambar 4.8.



Gambar 4. 8 Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

Berdasarkan gambar 4.8, nilai kalor semakin bertambah dengan adanya kenaikan katalis. Pada bahan bakar cair hidrokarbon dengan katalis 3,72% (b/v) dan 5,59% (b/v) nilai kalor yang didapatkan masih dalam kisaran nilai kalor bahan bakar minyak pada umumnya, sedangkan nilai kalor pada variasi katalis 5,59% (b/v) kalor yang didapatkan melebihi standar.

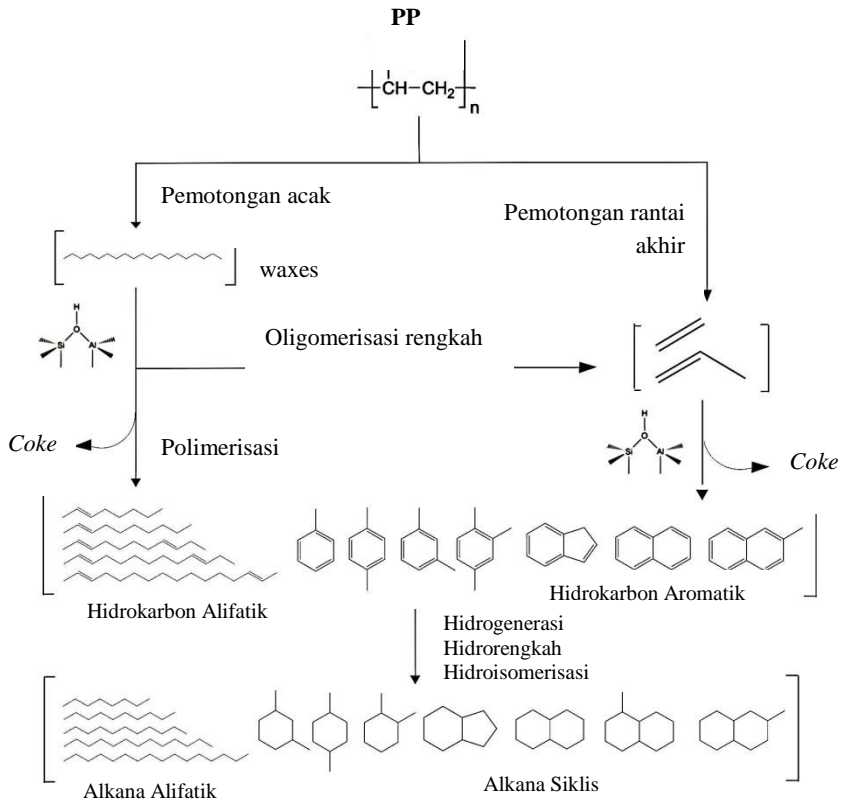
Peningkatan nilai kalor pada penelitian bisa terjadi karena adanya sumbangan komposisi fraksi hidrokarbon

rantai pendek yang lebih banyak jumlahnya. Hal ini dapat dibuktikan oleh hasil analisis GC-MS bahwa pada bahan bakar cair hidrokarbon dengan variasi jumlah katalis 5,59% (b/v) memiliki komposisi fraksi hidrokarbon rantai C4 dan C5. Selain itu, sumbangan fraksi hidrokarbon rantai panjang sebesar 12,07% juga memberi pengaruh pada nilai kalor. Nilai kalor suatu bahan bakar juga berkaitan dengan densitasnya. Nilai kalor berbanding terbalik dengan densitas (Wiratmaja, 2010).

Irzon (2012) dalam penelitiannya membandingkan nilai kalor beragam bahan bakar minyak yang dipasarkan di Indonesia. Penelitiannya tersebut menghasilkan nilai kalor bensin jenis premium sebesar 10.509 kkal/kg. Ketiga bahan bakar cair pada penelitian memiliki nilai kalor yang sudah mendekati nilai kalor pada bensin komersil jenis premium.

4.2.7. Konversi Katalitik

Pada penelitian ini proses konversi terjadi secara katalitik. Menurut Gates (1992), perengkahan katalitik menggunakan katalis asam akan membentuk senyawa intermediet berupa ion karbonium dan pemutusan terjadi pada posisi beta dari ion karbonium tersebut. Mekanisme perengkahan melalui ion karbonium akan menghasilkan berbagai macam produk karena intermediet karbonium mengalami berbagai reaksi samping seperti isomerisasi, siklisasi, dan aromatisasi (Sibarani, 2012).



Gambar 4. 9 Reaksi Konversi Katalitik Polipropilena
(Zhang dkk., 2016)

Kemungkinan reaksi selama konversi katalitik berlangsung dapat ditunjukkan pada gambar 4.9. Keberadaan katalis mampu membantu meningkatkan kualitas produk. Produk terbaik yang dihasilkan pada penelitian ini yaitu pada jenis bahan bakar cair dengan variasi katalis 5,59% (b/v).

Hampir seluruh pengujian yang dilakukan pada bahan bakar cair dengan variasi katalis 5,59% (b/v), menghasilkan nilai yang mendekati bensin komersil jenis premium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang telah diuraikan dapat disimpulkan bahwa produksi bahan bakar cair hasil pirolisis dari limbah plastik polipropilena dapat disintesis melalui metodekonversi katalitik menggunakan katalis Al-MCM-41. Pada penelitian ini diperoleh bahan bakar cair yang mendekati karakteristik bensin komersil yaitu bahan bakar cair dengan katalis 5,59% (b/v). Perolehankomposisi fraksi bensin (C8-C13) bahan bakar cair tersebut sebesar 87,49%, densitas sebesar 717,90 kg/m³, titik nyala 51°C, titik didih akhir 93°C, viskositas kinematik sebesar 0,416 cSt dan nilai kalor mencapai 25.355 kkal/kg.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya yaitu perlu dilakukan penambahan zat aditif bensin agar diperoleh hasil bahan bakar cair yang memenuhi baku mutu yang berlaku, serta dilakukan pengujian bahan bakar cair pada kendaraan bermotor.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Adjaye, J., & dan Bakhshi, N. (1995). Production of Hydrocarbons by Catalytic Upgrading of a Fast Pyrolysis Bio-Oil. Part II : Comparative Catalyst Performance and Reaction. *Fuel Processing Technology* , 185-202.
- Adjdir, M., Ali-Dahmane, T., & Weidler, P. G. (2009). The Structural Comparison between Al-MCM-41 and B-MCM-41. *Preliminary Communication* , 793-800.
- Adnan, M. (1997). *Kromatografi untuk Analisis Bahan Makanan*. Yogyakarta: Andi.
- Aguado, J., Serrano, D., & Escola, J. (2008). Fuels from Waste Plastics by Thermal and Catalytic Processes : A Review. *Ind. Eng. Chem. Res* , 47, 7982-7992.
- Agusta, A. (2000). *Minyak Atsiri Tumbuhan Tropika Indonesia*. Bandung: ITB.
- Al-Salem, S., Lettieri, P., & Baeyens, J. (2009). Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW) : A Review. *Waste Management*, 29 , 2625-2643.
- Atkins, P., & Paula, J. (2010). *Physical Chemistry, Ninth Edition*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Aziz, I. (2010). Uji Performance Mesin Diesel Menggunakan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas. *Valensi Vol.1, No.6* , 99-103.

- Bhattacharyya, K., Talubdar, A., Das, P., & Sivasanker, S. (2001). Acetylation of Phenol with Al-MCM-41. *Catalysis Communication* 2 , 105-111.
- Buekens, A., & Huang, H. (1998). Catalytic Plastics Cracking for Recovery of Gasoline-Range Hydrocarbons from Municipal Plastic Waste. *Resources, Conservation, and Recycling* , 23, 163-181.
- Chang, R. (2003). *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Chew, T., & Bhatia, S. (2008). Catalytic Processes Towards the Production of Biofuels in a Palm Oil and Oil Palm Biomass-Based Biorefinery. *Bioresour Technol* , 7911-7922.
- Conel, D., & Miller, G. (1995). *Chemistry and Ecotoxicology of Pollution*. Australia: A Wiley-Interscience Publication.
- Corma, A., Kan, Q., Navarro, M., Pariente, J., & Rey, F. (1997). Synthesis of MCM-41 with Different Pore Diameters without Addition of Auxiliary Organics. *Chem. Mater.* 9 , 2123-2126.
- Deutschmann, O., Knözinger, H., Kochloefl, K., & Turek, T. (2009). *Heterogeneous Catalyst and Solid Catalyst*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- Endud, S., Hadi, & Hamdan, H. (1998). Probing The Active Sites of Aluminated Mesoporous Molecular Sieve MCM-41 by Secondary Synthesis in the Conversion of

Cycloheksanol. *Mesoporous Molecular Sieve Vol.117* , 453-459.

Garcia, R., Serrano, D., & dan Otero, D. (2005). Catalytic Cracking of HDPE Over Hybrid Zeolitic-Mesoporous Materials. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Vol.74* , 379-386.

Gates, B. (1992). *Catalytic Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Gooch, J. (2007). *Analysis and Deformulation of Polymeric Materials*. New York: Kluwer Academic Publisher.

Gritter RJ, B. S. (1985). *Introduction of Chromatography penerjemah Kosasih Padmawinata Pengantar Kromatografi*. Bandung: ITB.

Hambali, E., Mjaldalipah, S., Tambunan, A. H., Pattiwiri, A. W., & Hendroko, R. (2007). *Teknologi Bioenergi*. Jakarta: PT. Agromedia Pustaka.

Irzon, R. (2012). Perbandingan Caloric Value Beragam Bahan Bakar Minyak yang Dipasarkan di Indonesia Menggunakan Bomb Kalorimeter. *Jurnal Sumber Daya Geologi Vol. 22 No. 4* , Vol. 22 No. 4 217-223.

Johnson, S. (1991). *Dasar Kromatografi Cair penerjemah Kosasih Padmawinata*. Bandung: ITB.

Julianti, N. K., Wardani, T. K., Gunardi, I., & Roesyadi, A. (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor

- Ganda Berpenyangga γ -Alumina ($\text{CaO/MgO}/\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$) dalam Reaktor Fluidized Bed. *Jurnal Teknik POMITS* , 2337-3539.
- Justiana, S. B. (2005). Rekayasa Minyak Pelumas dari Bahan Botol Plastik Bekas. Dalam *Majalah INOVASI* (ISSN : 0917-8376 Vol. 4). Japan: PPI Jepang.
- Juwono, H., Triyono, S., & Wahyuni, E. T. (2013). The Influence of Pd Impregnation into Al-MCM-41 on the Characters and Activity for Biogasoline Production by Catalytic Hydrocracking of Fames from Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum Inophyllum*). *Journal Chemical* , 171-175.
- Kadir. (2012). Kajian Pemanfaatan Sampah Plastik sebagai Sumber Bahan Bakar Cair. *Dinamika Jurnal Ilmiah* , Vol.3 No.2.
- Kavanagh, T. (2014). *Internasional Fuel Quality Standards and Their Implications for Australian Standards*. Australia: Australian Government, Department of the Environment.
- Kim, J., Kwak, J. H., Jun, S., & Ryoo, R. (1995). Ion Exchange and Thermal Stability of MCM-41. *Journal of Physical Chemistry* , 16742-16747.
- Kloetstra, K., Zandbergen, H., Jansen, J., & Bekkum, H. V. (1996). Overgrowth of Mesoporous MCM-41 on Faujasite. *Microporous Materials* Vol.6, No. 5-6 , 287-293.

- Kresge, C., Leonowicz, M., Roth, W., Vartuli, J., & Beck, J. (1992). Ordered Mesoporous Molecular Sieves Synthesized by a Liquid-Crystal Template Mechanism. *Nature* 359 , 710-712.
- Kumar, R., Pandey, K., Chandrashekar, N., & Mohan, S. (2011). Study of age and height wise variability on calorific value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid, Acacia auriculaeformis and Casuarina equisetifolia . *Biomass and Bioenergy* , 1339-1344.
- Leng, T., Mohamed, A. R., & Bhatia, S. (1999). Catalytic Conversion of Palm Oil to Fuels and Chemicals. *The Canadian Journal of Chemical Engineering* , 156-162.
- McNair, H. M., & Miller, J. M. (1998). *Basic Gas Chromatography*. New York: John Wiley & Sons.
- Megawati, R. F. (2010). *Analisis Mutu Minyak Atsiri Bunga Cengkeh (Syzygium aromaticum (L.) Meer. & Perry) dari Maluku, Metabolomic berbasis GC-MS*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Miskolczi, N., Bartha, L., DeAk, G., & Javer, B. (2004). Thermal degradation of municipal plastic waste for production of fuel-like hydrocarbons. *Polymer Degradation and Stability* , 357-366.
- Mohamed, A. B. (2005). *Synthesis, Characterization, and Activity of Al-MCM-41 Catalyst for Hydroxyalkylation of Epoxides*. Malaysia: Universiti Teknologi Malaysia.

- Munson, J. (1991). *Analisis Farmasi Metode Modern, diterjemahkan oleh Harjana, Purwa A.* Surabaya: Airlangga University Press.
- Nugraha, M. F., Wahyudi, A., & Gunardi, I. (2013). Pembuatan Fuel dari Liquid Hasil Pirolisis Plastik Polipropilen Melalui Proses Reforming dengan Katalis NiO/ γ -Al₂O₃. *Jurnal Teknik POMITS Vol. 2, No. 2* , ISSN ; 2337-3539.
- Nugroho, A. (2006). *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Perego, C., & Villa, P. (1997). Catalyst Preparation Methods. *Journal of Catalyst* , 34, 281-305.
- Prihandana, Rama, & Hendroko. (2006). *Menghasilkan Biodiesel Murah : Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: Agromedia Pustaka.
- Satterfield, C. (1980). *Heterogenous Catalysis in Particles*. New York: Mc. Graw-Hill Book Co.
- Saunders, K. (1994). *Organic Polymer Chemistry. 2nd Edition*. Glasgow: Chapman and Hall.
- Sayyahi, S., Menati, S., & Karamipour, M. (2013). Al-MCM-41: An Efficient and Recyclable Heterogeneous Catalyst for the Synthesis of $\beta\beta$ -Hydroxy Thiocyanates in Water. *Journal of Chemistry* , 1-5.
- Setiawati, E., & Edwar, F. (2012). Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik

Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Jurnal Riset Industri Vol. VI No. 2* , 117-127.

Sibarani, K. L. (2012). Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. Dalam *SKRIPSI* (hal. 15-17). Depok: Universitas Indonesia.

Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., & Crouch, S. R. (2014). *Fundamentals of Analytical Chemistry, Ninth Edition*. USA: Mary Finch.

Syamsiro, M., Cheng, S., Hu, W., Saptoadi, H., Pratama, N. N., Trisunaryanti, W., et al. (2014). Liquid and Gaseous Fuels from Waste Plastics by Sequential Pyrolysis and Catalytic Reforming Processes over Indonesian Natural Zeolite Catalysts. *Waste Tech Vol.2(2)* , 44-51.

Wahyudi, E., Zultiniar, & Saputra, E. (2015). Pengolahan Sampah Plastik Polypropylene (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik menggunakan Katalis Zeolit X. *JOM FTEKNIK* , 1-4.

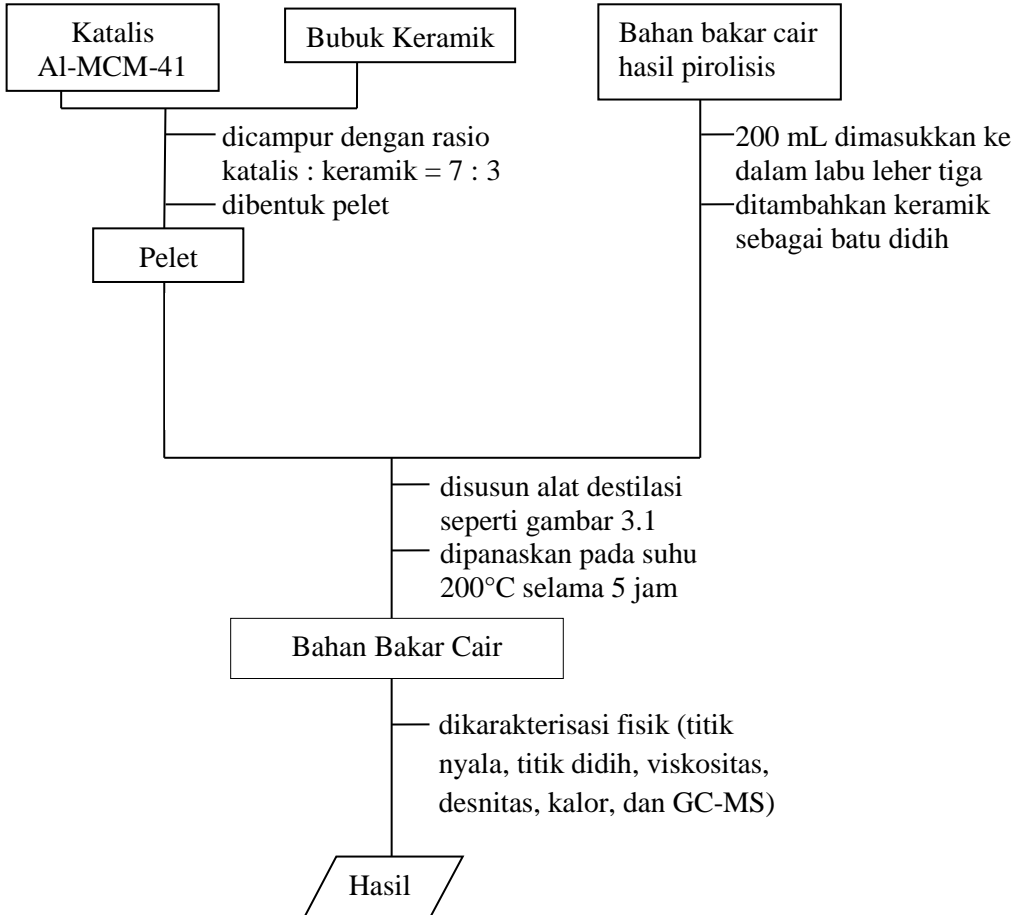
Wanchai, K., & Chaisuwan, A. (2013). Catalytic Cracking of Polypropylene Waste over Zeolite Beta. *Chemistry and Material Research* , Vol. 3 No. 4.

Wiratmaja, I. G. (2010). Pengujian Karakteristik Fisika Biogasoline sebagai Bahan Bakar Alternatif Pengganti Bensin Murni. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* , 145-154.

- Xie, C., Liu, F., Yu, S., Xie, F., Li, L., Zhang, S., et al. (2008). Catalytic Cracking of Polypropylene into Liquid Hydrocarbon Over Zr and Mo Modified MCM-41 Mesoporous Molecular Sieve. *Catalysis Communication* , 10.
- Zhang, X., Lei, H., Zhu, L., Qian, M., Zhu, X., & Wu, J. (2016). Enhancement of Jet Fuel Range Alkanes from Co-feeding of Lignocellulostic Biomass with Plastic via Tandem Catalytic Conversions . *Applied Energy* , 418-430.

LAMPIRAN

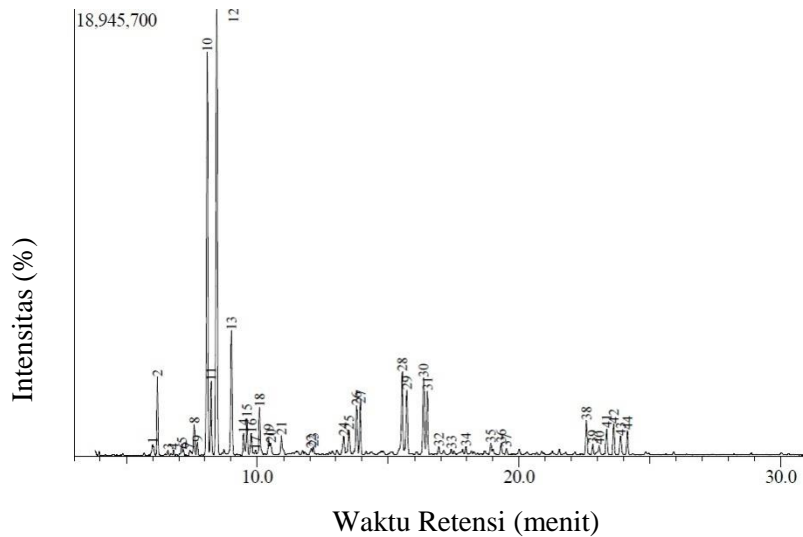
A. SKEMA KERJA



B. KARAKTERISASI BAHAN BAKAR CAIR

B.1. Analisis Menggunakan Kromatografi Gas

B.1.1. Katalis 3,72% (b/v)



Gambar 5. Kromatogram GC Bahan Bakar Cair dengan katalis 3,72% (b/v)

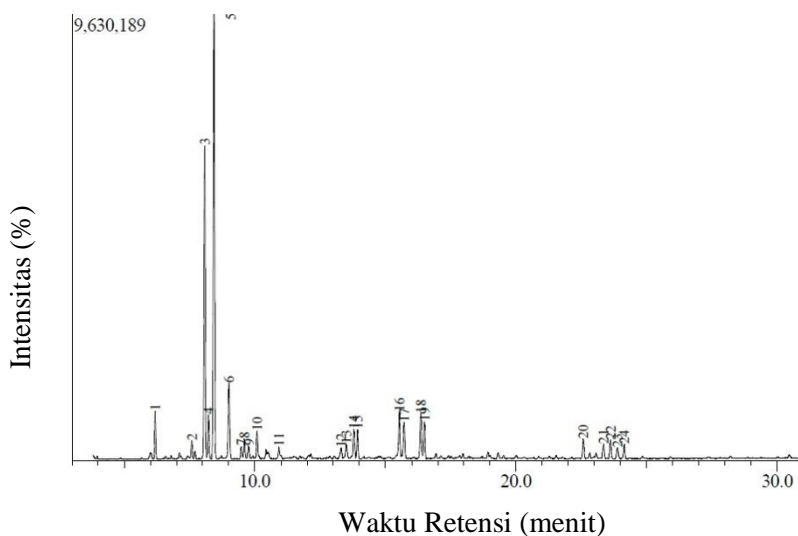
Tabel 1. Data Luas Area Bahan Bakar Cair dengan Katalis 3,72% (b/v)

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Fraksi C
1	6,000	5,950	6,100	1809016	C08
2	6,188	6,117	6,258	9434384	C08
3	6,585	6,542	6,642	526711	C08
4	6,803	6,758	6,858	532049	C08
5	7,111	7,058	7,150	1235726	C08
6	7,177	7,150	7,233	534000	C08

7	7,417	7,375	7,525	1060060	C09
8	7,586	7,525	7,650	4447625	C09
9	7,706	7,650	7,783	1725068	C09
10	8,086	7,992	8,167	62090320	C09
11	8,231	8,167	8,317	10335114	C09
12	8,446	8,350	8,558	76811919	C09
13	9,013	8,925	9,125	18555762	C09
14	9,478	9,408	9,542	3527355	C09
15	9,601	9,542	9,675	5361314	C11
16	9,763	9,675	9,833	3431690	C09
17	9,929	9,833	9,975	888323	C10
18	10,084	9,975	10,233	7504130	C12
19	10,432	10,367	10,475	2492867	C10
20	10,508	10,475	10,617	1848918	C07
21	10,919	10,850	11,083	3629356	C08
22	12,058	12,025	12,108	259995	C13
23	12,141	12,108	12,200	564757	C10
24	13,298	13,208	13,367	2680748	C11
25	13,500	13,425	13,592	3866654	C11
26	13,788	13,717	13,858	7019280	C10
27	13,931	13,867	14,017	6978324	C10
28	15,530	15,442	15,600	11705578	C12
29	15,710	15,642	15,800	8890679	C12
30	16,351	16,258	16,417	12232482	C15
31	16,489	16,417	16,575	9914100	C10
32	16,930	16,875	17,008	988859	C11
33	17,405	17,358	17,458	421573	C12
34	17,961	17,908	18,033	992400	C19
35	18,916	18,858	18,967	1172205	C10
36	19,310	19,242	19,383	1777837	C11
37	19,518	19,383	19,592	1000441	C12
38	22,570	22,492	22,650	5377134	C12
39	22,814	22,650	22,892	1630139	C12
40	23,059	22,892	23,142	1927679	C12

41	23,341	23,267	23,433	4015353	C12
42	23,614	23,533	23,708	4900422	C10
43	23,872	23,758	23,983	3651656	C10
44	24,135	23,983	24,217	3800416	C10
Total luas area				313550418	

B.1.2. Katalis 4,28% (b/v)



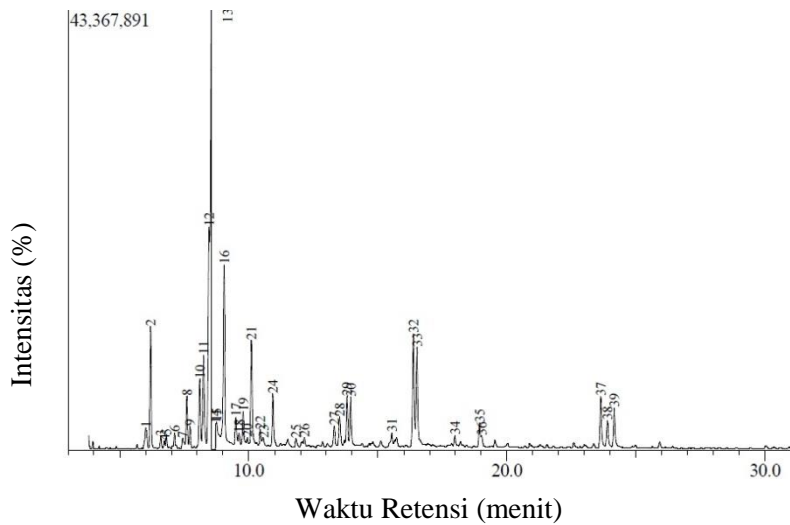
Gambar 6. Kromatogram GC Bahan Bakar Cair dengan katalis 4,28% (b/v)

Tabel 2. Data Luas Area Bahan Bakar Cair dengan Katalis 4,28% (b/v)

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Fraksi C
1	6,186	6,125	6,250	2860521	C08
2	7,585	7,525	7,650	1185030	C09

3	8,079	8,000	8,158	21990047	C09
4	8,221	8,158	8,300	3039091	C09
5	8,436	8,350	8,533	32660472	C09
6	9,010	8,933	9,092	5484415	C09
7	9,480	9,433	9,542	788963	C09
8	9,601	9,542	9,667	1413547	C11
9	9,762	9,717	9,825	727983	C09
10	10,087	10,025	10,150	1819314	C12
11	10,921	10,875	10,975	594162	C10
12	13,301	13,258	13,358	505152	C11
13	13,502	13,442	13,583	1022310	C11
14	13,787	13,733	13,858	1975466	C10
15	13,928	13,875	14,008	1979598	C10
16	15,529	15,458	15,600	3268390	C12
17	15,712	15,650	15,792	2532283	C12
18	16,353	16,275	16,425	3522997	C15
19	16,490	16,425	16,567	2863653	C15
20	22,573	22,517	22,650	1410638	C12
21	23,344	23,292	23,417	1022773	C12
22	23,618	23,558	23,692	1353354	C10
23	23,880	23,825	23,967	804660	C10
24	24,139	24,083	24,208	971718	C10
Total luas area				95796537	

B.1.3. Katalis 5,59% (b/v)



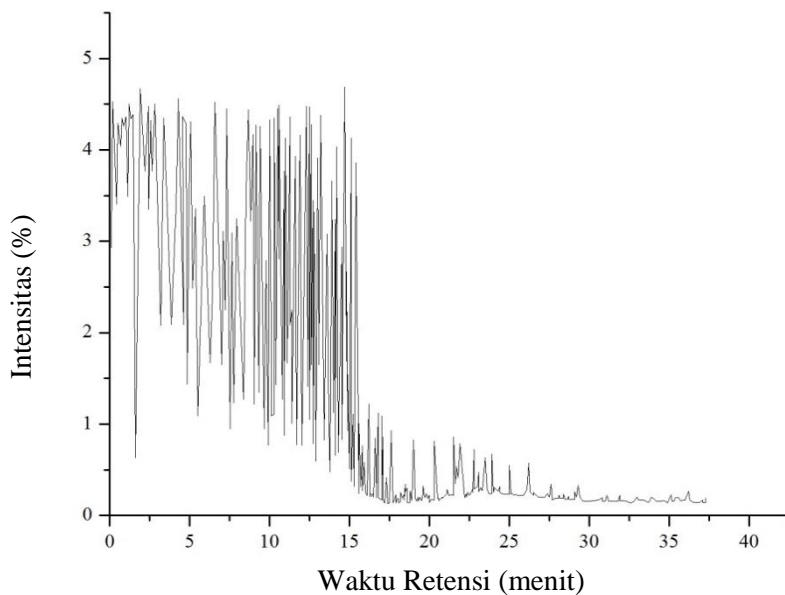
Gambar 7. Kromatogram GC Bahan Bakar Cair dengan katalis 5,59% (b/v)

Tabel 3. Data Luas Area Bahan Bakar Cair dengan Katalis 5,59% (b/v)

Peak#	R.Time	I.Time	F.Time	Area	Fraksi C
1	6,008	5,908	6,108	11494784	C08
2	6,198	6,117	6,308	37163859	C08
3	6,594	6,533	6,658	3409554	C08
4	6,731	6,667	6,767	2090051	C05
5	6,813	6,767	6,875	3521781	C08
6	7,121	7,067	7,175	3526915	C08
7	7,433	7,375	7,533	5294486	C09
8	7,598	7,533	7,667	19129679	C09
9	7,719	7,667	7,808	7445421	C09

10	8,099	8,008	8,175	27652327	C09
11	8,247	8,175	8,358	41820044	C09
12	8,459	8,358	8,483	89420245	C09
13	8,539	8,483	8,558	100259761	C09
14	8,717	8,708	8,725	1295171	C05
15	8,755	8,725	8,833	12484504	C08
16	9,045	8,833	9,183	80952676	C09
17	9,498	9,417	9,567	10361847	C09
18	9,619	9,567	9,692	4176889	C09
19	9,780	9,692	9,900	13007168	C09
20	9,941	9,900	10,000	1948753	C10
21	10,104	10,000	10,258	39970135	C12
22	10,446	10,375	10,508	5735213	C08
23	10,575	10,508	10,650	3390504	C09
24	10,933	10,850	11,100	20729945	C08
25	11,824	11,767	11,933	3516750	C10
26	12,156	12,108	12,233	2011141	C11
27	13,311	13,233	13,400	7641967	C11
28	13,518	13,400	13,642	13296115	C10
29	13,803	13,642	13,875	20013294	C10
30	13,946	13,875	14,058	18284772	C12
31	15,539	15,483	15,600	3195731	C15
32	16,376	16,258	16,450	49074221	C12
33	16,514	16,450	16,642	39984811	C15
34	17,979	17,908	18,067	4009150	C10
35	18,936	18,858	18,992	9916919	C10
36	19,025	18,992	19,108	3629230	C10
37	23,635	23,542	23,758	22149061	C10
38	23,892	23,758	24,008	12527440	C10
39	24,157	24,008	24,283	15527938	C10
Total luas area				771060252	

B.1.4. Premium



Gambar 8. Kromatogram GC Premium

Tabel 4. Data Luas Area Premium

RT	Start time	End time	Luas	Fraksi
4.258	4.147	4.492	1890366800	C6
4.638	4.492	4.730	2575517383	C6
4.785	4.730	4.904	2549248598	C5
4.943	4.904	5.116	3062771042	C6
5.209	5.116	5.290	3159562969	C6
5.381	5.290	5.549	3609905783	C6
5.809	5.549	6.026	8084692641	C6
6.194	6.026	6.265	5221541618	C7
6.367	6.265	6.449	3867841489	C7
6.629	6.449	6.930	8491419389	C7

7.140	6.930	7.575	10650536088	C7
7.902	7.575	8.187	9933622027	C7
8.268	8.187	8.349	2646291836	C8
8.615	8.349	8.726	6305833306	C8
8.811	8.726	8.965	2787072158	C8
9.143	8.965	9.202	1995798503	C8
9.339	9.202	9.642	5445918924	C8
9.975	9.642	10.345	11303158373	C8
10.414	10.345	10.489	1818066320	C9
10.572	10.489	10.758	3976880148	C8
10.835	10.758	10.954	1699873540	C9
11.128	10.954	11.542	6042314986	C9
11.814	11.542	11.955	7112946221	C9
12.016	11.955	12.129	2809330957	C9
12.235	12.129	12.364	3049115478	C9
12.456	12.364	12.681	4375867969	C9
12.757	12.681	12.862	1743026256	C10
13.016	12.862	13.178	3860683089	C9
13.275	13.178	13.337	2086368122	C9
13.428	13.337	13.488	2957202140	C10
13.536	13.488	13.695	3490237709	C10
13.735	13.695	13.828	1181151544	C10
13.919	13.828	13.992	2878505234	C10
14.053	13.992	14.215	3800534910	C10
14.267	14.215	14.319	903996504	C10
14.399	14.319	14.498	2050732206	C10
14.648	14.498	14.728	3398056455	C10
14.986	14.728	15.143	5634119686	C10
15.203	15.143	15.424	4148201854	C10
15.456	15.424	15.557	985171095	C11
15.670	15.557	15.731	1781714062	C11
15.812	15.731	16.130	5475082815	C10
16.171	16.130	16.314	1109972147	C11
16.437	16.314	16.642	2997602086	C10

16.687	16.642	16.747	1071503833	C11
16.803	16.747	16.867	522600726	C12
16.921	16.867	17.028	1391262322	C12
17.094	17.028	17.245	1527997023	C12
17.326	17.245	17.399	774962648	C12
17.460	17.399	17.645	1778244696	C11
17.717	17.645	17.921	1364749434	C11
17.959	17.921	18.023	214705315	C12
18.061	18.023	18.412	407389535	C12
18.442	18.412	18.688	293395473	C14
18.792	18.688	18.903	210206015	C12
18.947	18.903	19.021	209999270	C12
19.160	19.021	19.405	440657186	C12
19.442	19.405	19.620	83110635	C12
19.733	19.620	19.875	158190534	C15
19.922	19.875	20.152	50785563	C13
20.226	20.152	20.342	41688771	C13
Total Luas Area			1,85489x10 ¹¹	

B.2. Kalor

Tabel 5. Nilai Kalor Bahan Bakar Cair

Jenis bahan bakar cair	Kalor	
	(kkal/kg)	(MJ/kg)
Katalis 3,72 % (b/v)	10.895	45,58
Katalis 4,28 % (b/v)	11.093	46,41
Katalis 5,59 % (b/v)	25.355	106,08
Premium ((Irzon, 2012)	10.509	

B.3. Titik Didih dan Titik Nyala

Tabel 6. Tiik Didih dan Titik Nyala Bahan Bakar Cair

Jenis Bahan Bakar Cair	Ttitik Nyala	Titik Didih
Katalis 3,72 % (b/v)	60	98
Katalis 4,28 % (b/v)	58	95
Katalis 5,59 % (b/v)	51	93

C. PERHITUNGAN

C.1. Variasi Jumlah Katalis

Jumlah katalis yang digunakan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\%(\text{b/v}) \text{ katalis} &= \frac{\text{berat katalis}}{\text{volume feedstock}} \times 100\% \\ &= \frac{7,4495 \text{ g}}{200 \text{ mL}} \times 100\% \\ &= 3,72\%\end{aligned}$$

Dengan cara yang sama, maka dapat diperoleh % katalis setiap produk bahan bakar cair yang ditunjukkan pada tabel 9.

Tabel 7. Variasi Jumlah Katalis

Jenis Bahan Bakar Cair	Berat Katalis (gram)	Volume Feedstock (mL)	% Katalis (b/v)
A	7,4495	200	3,72
B	8,5584	200	4,28
C	11,1760	200	5,59

C.2. Densitas Bahan Bakar Cair

$$m_{\text{piknometer}} = 17,2044 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V_{\text{piknometer}} = 10,194 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$m_{\text{Bahan Bakar Cair+piknometer}} = 24,6973 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Densitas} &= \frac{m_{\text{Bahan Bakar Cair+piknometer}} - m_{\text{piknometer}}}{V_{\text{piknometer}}} \\ &= \frac{24,6973 \times 10^{-3} \text{ kg} - 17,2044 \times 10^{-3} \text{ kg}}{10,194 \times 10^{-6} \text{ m}^3} \\ &= 735 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 8. Densitas Bahan Bakar Cair

Jenis Bahan Bakar Cair Hidrokarbon	$m_{\text{Bahan Bakar Cair+piknometer}} (10^{-3} \text{ kg})$	$m_{\text{piknometer}} (10^{-3} \text{ kg})$	$V_{\text{piknometer}} (10^{-6} \text{ m}^3)$	$\rho (kg/m^3)$
Katalis 3,72 % (b/v)	24,6973	17,2044	10,194	735,03
Katalis 4,28 % (b/v)	24,592	17,2044	10,194	724,70
Katalis 5,59 % (b/v)	24,5227	17,2044	10,194	717,90

C.3. Viskositas Kinematik Bahan Bakar Cair

$$\eta_{\text{air}}(40^\circ\text{C}) = 0,658 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} = 0,658 \text{ cSt}$$

$$\rho_{\text{air}} = 986,44 \text{ kg/m}^3$$

$$t_{\text{air}} = 3,14 \text{ s}$$

$$t_{\text{Bahan Bakar Cair}} = 2,83 \text{ s}$$

$$\rho_{\text{Bahan Bakar Cair}} = 735 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Viskositas } (\eta) &= \frac{\eta_{\text{air}} \times t_{\text{bahan bakar cair}} \times \rho_{\text{bahan bakar cair}}}{t_{\text{air}} \times \rho_{\text{air}}} \\ &= \frac{0,658 \text{ cSt} \times 2,93 \text{ s} \times 735 \text{ kg/m}^3}{3,06 \text{ s} \times 986,44 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,469 \text{ cSt} \end{aligned}$$

Tabel 9. Viskositas Kinematik Bahan Bakar Cair

Jenis Bahan Bakar Cair	$t_{bbc1}(s)$	$t_{bbc2}(s)$	$t_{bbc3}(s)$	$t_{bbc}(s)$	$t_{air}(s)$	$\rho_{air}(kg/m^3)$	$\eta_{bbc}(cSt)$
Katalis 3,72 % (b/v)	2,83	2,95	3	2,93	3,06	986,44	0,469
Katalis 4,28 % (b/v)	2,78	2,81	2,84	2,81	3,06	986,44	0,444
Katalis 5,59 % (b/v)	2,65	2,66	2,67	2,66	3,06	986,44	0,416

C.4. Perolehan Yield Bahan Bakar Cair

C.4.1. Yield Efisiensi Reaktor Bahan Bakar Cair

$$\% \text{ Yield} = \frac{\text{volume}_{bbc}}{\text{volume feedstock}} \times 100$$

$$\% \text{ Yield} = \frac{35,5 \text{ mL}}{200 \text{ mL}} \times 100$$

Tabel 10. Yield Efisiensi Reaktor Bahan Bakar Cair

Jenis bahan bakar cair hidrokarbon	Volume <i>feedstock</i> (mL)	Volume bahan bakar cair hidrokarbon (mL)	Perolehan <i>yield</i> (%)
Katalis 3,72 % (b/v)	200	35,5	17,75%
Katalis 4,28 % (b/v)		33	16,5%
Katalis 5,59 % (b/v)		26	13%

C.4.2. Perolehan Komposisi Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair pada GC-MS

$$\text{Luas fraksi (C}_8\text{--C}_{13}) = 300325536$$

$$\text{Luas fraksi total} = 313550418$$

$$\% \text{ Komposisi} = \frac{\text{Luas fraksi target}}{\text{Luas fraksi total}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Komposisi} = \frac{298476618}{313550418} \times 100\%$$

$$\% \text{ Komposisi} = 95,78 \%$$

Tabel 11. Yield Luas Aarea Bahan Bakar Cair

Jenis bahan bakar cair hidrokarbon	Luas area target	Luas area total	Komposisi (%)
Katalis 3,72 % (b/v)			
C1-C7	0,000	313550418	0
C8-C13	300325536		95,78
C14-C19	13224882		4,22
Katalis 4,28 % (b/v)			
C1-C7	0	95796537	0
C8-C13	89409887		93,33
C14-C19	6386650		6,67
Katalis 5,59 % (b/v)			
C1-C7	3385222	771060252	0,44
C8-C13	674606935		87,49
C14-C19	93068182		12,07

D. Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin

D. 1. SNI 06-3506-1994

TABEL 1

SPESIFIKASI BENJIN PREMIUM

KARAKTERISTIK	Batasan		Metode Uji	
	Min.	Maks.	SPM/SNI/ASTM/IP	
Penilaian Ketukan : Angka Oktana Riset	AO	88,0	ASTM	D. 2699
Kandungan Pb	gr/lit	0,45	ASTM	D. 2547/D. 3341
Distilasi :			ASTM	D. 86
Teruap sampai 10% vol.	°C	74		
Teruap sampai 50% vol.	°C	88		
Teruap sampai 90% vol.	°C	180		
Titik didih akhir,	°C	205		
Residu,	% vol	2,0		
Tekanan uap Reid pada 100°F, psi		9,0	ASTM	D. 323
Getah Purwa,	mg/100 ml	4	ASTM	D. 381
Periode Induksi	menit	240	ASTM	D. 525
Kandungan Sulfur,	% berat	0,20	ASTM	D. 1266
Korosi lempeng Tembaga 3 jam/122°F (50°C), ASTM		No. 1	ASTM	D. 130
Uji Doktor atau		Negatif		IP. 30
Merkaptan sulfur	% berat	0,0020	ASTM	D. 3227
Warna		Kuning		Visual
Kandungan zat Warna,	gr/100 AG	0,5		Analitik
Bau	dapat dipasarkan			

D. 2. Shell Petroleum Canada 1999

Gasoline (Unleaded)

Synonyms: Automotive Fuel Petrol		Reference ID
For additional fuel specifications refer to ASTM D 4814.		
Data from Shell 1999 were taken from MSDS Number 211-100.		
Equation(s) for Predicting Evaporation $\%Ev = (13.2 + 0.21T)\ln(t)$ Where %Ev = weight percent evaporated; T = surface temperature (°C); t = time (minutes)		
Flash Point (°C)		ESD 96
		-30
Flammability Limits in Air (volume %)		Shell 99a
		1.4 to 7.5
Ignition Temperature (°C)		Shell 99a
		280
Odour Threshold (ppm)		Shell 99a
		<0.25
Density (g/mL)		
Temperature (°C)		
15		0.750 to 0.850
Kinematic Viscosity (mm²/s or cSt)		Shell 99a
Temperature (°C)		
38		<1
Boiling Point Distribution (weight %)		
Boiling Point (°C)		Weight %
40		26
60		30
80		44
100		70
120		84
140		85
160		88
180		95
200		98
Boiling Point Distribution (°C)		
Weight %		Boiling Point (°C)
25		ESD 94
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		

Copyright Environment Canada, Emergencies Science and Technology Division

Gasoline (Unleaded)

Boiling Point Distribution (°C)			Reference ID
Weight %	Boiling Point (°C)		
80			ESD 94
85			
90			
95			
Boiling Range (°C)			Shell 99a
	35 to 220		
Aqueous Solubility (mg/L)			
Temperature (°C)			
20 (approx.)	307	(a)	MacLean 89
22	112	(a)	Suntio 96
20 (approx.)	261	(b)	MacLean 89
(a) fresh water; (b) salt water			
Acute Toxicity of Water Soluble Fraction (mg/L)			
48h EC50	Test Organism		
	Daphnia magna	5	(a) MacLean 89
		2	(b) EETD 89
	Artemia spp.	25	(a) MacLean 89
		9	(b) EETD 89
48h LC50	Daphnia magna	50	(a) MacLean 89
		18	(b) EETD 89
	Artemia spp.	51	(a) MacLean 89
		18	(b) EETD 89
	Rainbow trout larvae	7	(c) Lockhart 87
		5	(d)
(a) results based on fluorescence spectroscopy; (b) results based on GC purge-and-trap analysis; (c) closed container; (d) open container			
Threshold Limit Values (ppm)			ACGIH 99
TWA	300		
STEL	500		

“Halaman sengaja dikosongkan”

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ismi Qurratul 'Uyun yang dilahirkan di Gresik pada tanggal 28 Januari 1995. Penulis merupakan anak kedelapan dari sepuluh bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SD Muhammadiyah 1 Melirang, Bungah, Gresik; SMPN 14 Malang; dan SMAN 7 Malang. Penulis melanjutkan pendidikan

tinggi di Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SBMPTN pada tahun 2013 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 1413100088. Penulis aktif berorganisasi selama menempuh pendidikan di ITS. Penulis pernah menjabat sebagai staff Departemen Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Kimia (HIMKA) ITS periode 2014/2015, staff Divisi PSDU UKM Sepakbola ITS periode 2014/2015, ketua Dewan Perwakilan Angkatan (DPA) HIMKA-ITS periode 2015/2016, serta ketua Divisi PSDU UKM Sepakbola ITS periode 2015/2016. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FMIPA ITS dengan mengambil tugas akhir yang berjudul "Produksi Bahan Bakar Cair Hidrokarbon (C₈-C₁₃) dari Limbah Plastik Polipropilena Hasil Konversi Katalitik dengan Variasi Jumlah Katalis Al-MCM-41" yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. dan Dra. Ita Ulfen, M.Si. Penulis dapat

diajak berdiskusi mengenai tugas akhir maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email ismiqu23@gmail.com.